



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISA OPERABILITAS DAN KEANDALAN SPM 1134  
CNOOC SES LTD. TERHADAP VARIASI GELOMBANG  
SERATUS TAHUNAN**

Agripina Heraspatty

NRP. 4311 100 086

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**OPERABILITY AND RELIABILITY ANALYSIS OF SPM 1134  
CNOOC SES LTD. VARIATIONS OF A CENTURY WAVES**

Agripina Heraspatty

NRP. 4311 100 086

Supervisors :

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**Analisa Operabilitas dan Keandalan SPM 1134 CNOOC SES Ltd. Terhadap Variasi  
Gelombang Seratus Tahunan**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Agripina Heraspatty**

NRP. 4311 100 086

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Prof. Ir. Daniel M. Resmid, Ph.D., MRINA (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Rudi Waluyo P., S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2016

## ABSTRAK

### ANALISA OPERABILITAS DAN KEANDALAN SPM 1134 CNOOC SES LTD. TERHADAP VARIASI GELOMBANG SERATUS TAHUNAN

Nama Mahasiswa : Agripina Heraspatty  
NRP : 4311 100 086  
Jurusan : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, M.Sc.  
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Operabilitas dan keandalan adalah dua hal yang berbeda. Operabilitas adalah kemampuan dari suatu struktur untuk bekerja pada saat kondisi lingkungan tertentu dengan membandingkan waktu kerja sehingga pekerjaan dapat diselesaikan (*limited condition*). Sedangkan keandalan adalah peluang untuk mengetahui ketahanan dari suatu struktur tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu yang ditentukan dan dalam kondisi lingkungan tertentu. Dimana akan timbulnya ketidakpastian struktur yang dibagi menjadi 3 yaitu variabilitas fisik, ketidakpastian statik, dan ketidakpastian model. Dalam konsep ini perancang akan menggambarkan suatu sistem dengan segala hal yang dapat mempengaruhi kerusakan pada struktur misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya karena melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisa ini. Pada tahap tugas akhir ini akan membahas tentang analisa operabilitas dan keandalan *Single Point Mooring* (SPM) 1134 CNOOC SES Ltd terhadap variasi beban gelombang seratus tahunan. Didapatkan hasil analisa RAO dari struktur SPM 1134 memiliki gerakan dominan *surge* dan *sway* masing-masing sebesar 0,497 m/m. Spektra respon dari struktur SPM 1134 pada saat tertambat terbesar terdapat pada gerakan *surge* dan *pitch*. Dapat disimpulkan bahwa struktur SPM 1134 memiliki operabilitas 98%, keandalan dari *mooring line* paling rendah sebesar 82%.

Kata Kunci-*Single Point Mooring, Mooring Line, Operabilitas, Analisa Keandalan*

## **ABSTRACT**

### ***OPERABILITY AND RELIABILITY ANALYSIS OF SPM 1134 CNOOC SES LTD. ON VARIATIONS OF A CENTURY WAVES***

*Name* : Agripina Heraspatty  
*NRP* : 4311 100 086  
*Department* : Ocean Engineering  
*Supervisors* : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, M.Sc.  
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

*Operability and reliability are two different things. Operability is the ability of a structure to work in such condition by comparing the time needed for the work to be done (limited condition). While reliability on the other hand is a probability of a structure to hold on in such condition at the appointed time without experiencing failure. Where there will be three structural uncertainty such as physical variability, static uncertainty, and model uncertainty.*

*With this concept, designer will make a system with everything that possible to experience structure failure, for example loading condition, structure resistance, environmental condition that nearly similar to real condition. The topic spoken in this thesis is operability and reliability analysis of Single Point Mooring (SPM) 1134 CNOOC SES Ltd. on variations of a century waves. RAO analysis gained from the SPM 1134, it had surge dominant and sway of 0.492m/s each. The biggest response spectra of the SPM 1134 while be glued is on surge and pitch. It can be concluded that SPM 1134 have the operability of 98%, the lowest reliability of the mooring line of 82%.*

*Keywords : Single Point Mooring, Mooring Line, Operability, Reliability Analysis*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat, karunia, dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis panjatkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisa Operabilitas dan Keandalan SPM 1134 CNOOC SES Ltd. Terhadap Variasi Gelombang Seratus Tahunan”. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang optimasi desain seafastening dengan menggunakan analisa keputusan kriteria mejemuk untuk mencari desain yang paling optimal.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang *marine technology* serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. R. Bambang Heraspatty, S.E., M.M. dan Fatriya Lopes, S.H. selaku kedua orang tua saya yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, M.Sc selaku dosen pembimbing 1 saya dan Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D selaku dosen pembimbing 2 saya dalam tugas akhir. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Sholihin S.T. selaku dosen wali saya selama kuliah di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS ini. Terima kasih atas bimbingan dan arahan bapak sehingga saya bisa menjadi mahasiswa yang lebih baik.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan dan mengerjakan tugas akhir ini.
5. Kapten Onasis selaku *General Manager* CNOOC SES Ltd dan rekan-rekan PT. Radian Utama Interinsco yang telah memberikan data-data dan fasilitas ketika kerja praktek yang akhirnya penulis dapat melaksanakan penelitian tugas akhir ini. Terima kasih atas bantuan dan motivasi yang sudah rekan-rekan berikan.
6. Rekan-rekan Laboratorium Operasional Riset dan Perancaan dan Laboratorium Komputasi Numerik yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Rekan-rekan Trident L-29 Teknik kelautan 2011 dan Varuna L-30 Teknik Kelautan 2012 yang selalu mendukung dan membantu satu sama lain hingga tugas akhir ini selesai.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi, dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas akhir ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-nya kepada kita semua.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	7
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Dasar Teori .....	5
2.1.1 <i>Single Point Mooring</i> .....	5
2.1.2 Loading Muaran dengan Single Point Mooring.....	7
2.1.3 Mooring Line .....	7
2.1.4 Derajat Kebebasan Gerak Bangunan Apung (DOF) .....	9
2.1.5 Respon Amplitude Operator .....	13
2.1.6 Spektra Gelombang.....	13
2.1.7 Respon Spektrum .....	14
2.1.8 Operabilitas .....	14
2.1.9 Analisa Keandalan .....	15
BAB III METODOLOGI .....	19
3.1 Diagram Alir.....	19
3.2 Penjelasan Metodologi Penelitian .....	21

3.3	Pengumpulan Data.....	22
3.3.1	Data Lingkungan.....	22
3.3.2	Data <i>Single Point Mooring</i> 1134 CNOOC SES Ltd .....	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Permodelan.....	25
4.1.1	<i>Single Point Mooring</i> (SPM) .....	25
4.1.2	MT. Galunggung.....	27
4.2	Validasi Pemodelan.....	28
4.2.1	Single Point Mooring (SPM) .....	28
4.2.2	MT. Galunggung.....	29
4.3	Konfigurasi Anchor <i>Legs</i> dan <i>Hawser</i> .....	29
4.4	Analisa Gerakan Struktur .....	30
4.4.1	<i>Single Point Mooring</i> .....	30
4.4.2	MT. Galunggung.....	31
4.5	Response Amplitude Operator (RAO) .....	32
4.5.1	<i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) pada saat SPM dengan MT. Galunggung pada kondisi tertambat. ....	33
4.6	Analisa Respon Gerak Struktur Pada Gelombang Acak .....	37
4.6.1	Analisa Spektrum Gelombang .....	37
4.6.2	Analisa Spektra Respon .....	40
4.7	Analisa Operabilitas Struktur SPM 1134 di Laut Jawa.....	46
4.7.1	Operasi SPM 1134 di Laut Jawa.....	47
4.8	Analisa Tegangan Pada <i>Mooring Line</i> .....	48
4.9	Analisa Keandalan dengan Metode MVFOSM.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSATAKA .....		55

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Blok Widuri Terminal.....	2
<b>Gambar 2.1</b> Fixed Tower.....	5
<b>Gambar 2.2</b> Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) .....	5
<b>Gambar 2.3</b> Single Point and Reservoir (SPAR).....	6
<b>Gambar 2.4</b> Single-Anchor Loading (SAL) .....	6
<b>Gambar 2.5</b> Turret Mooring .....	6
<b>Gambar 2.6</b> SPM 1134 tertambat dengan tanker.....	7
<b>Gambar 2.7</b> Caterany System .....	8
<b>Gambar 2.8</b> Ilustrasi Gerakan Heaving .....	9
<b>Gambar 2.9</b> Ilustrasi Gerakan Pitching (Sumber: Murtedjo, 1999) .....	10
<b>Gambar 2.10</b> Ilustrasi Gerakan Rolling (Sumber: Djatmiko, 2012).....	11
<b>Gambar 2.11</b> Ilustrasi Gerakan Yawing (Sumber: Djatmiko, 2012).....	12
<b>Gambar 2.12</b> Ilustrasi Gerakan Swaying (Sumber: Djatmiko, 2012).....	12
<b>Gambar 2.13</b> Ilustrasi Gerakan Surging (Sumber: Djatmiko, 2012).....	12
<b>Gambar 2.14</b> Fungsi Kerapatan Peluang (f <sub>kp</sub> ) dari kapasitas X dan tuntutan Y.	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	19
<b>Gambar 3.2</b> Hawser SMP to Ship (Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016) .....	23
<b>Gambar 3.3</b> Anchor Legs (Top View) (Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016) .....	24
<b>Gambar 4.1</b> Hasil Pemodelan SPM 1134 pada Software Maxsurf.....	25
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Pemodelan SPM 1134 pada Software Maxsurf.....	26
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Pemodelan SPM 1134 pada Software Maxsurf .....	26
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Pemodelan SPM 1134 pada Software Maxsurf.....	26
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada Software Maxsurf.....	27
<b>Gambar 4.6</b> Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada Software Maxsurf.....	28
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada Software Maxsurf.....	28
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada Software Maxsurf.....	28
<b>Gambar 4.9</b> Konfigurasi Anchor Legs dan Hawser pada Ansys AQWA (Tampak Samping) .....	29
<b>Gambar 4.10</b> Konfigurasi <i>Anchor Legs</i> dan <i>Hawser</i> pada Ansys AQWA (Tampak Atas).....	30

<b>Gambar 4.11</b> Model SPM pada Ansys AQWA .....	31
<b>Gambar 4.12</b> Model MT. Galunggung pada Ansys AQWA .....	32
<b>Gambar 4.13</b> RAO tertambat gerakan <i>surge</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	33
<b>Gambar 4.14</b> RAO tertambat gerakan <i>sway</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	34
<b>Gambar 4.15</b> RAO tertambat gerakan <i>heave</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	34
<b>Gambar 4.16</b> RAO tertambat gerakan <i>roll</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	35
<b>Gambar 4.17</b> RAO tertambat gerakan <i>pitch</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	35
<b>Gambar 4.18</b> RAO tertambat gerakan <i>yaw</i> pada saat SPM dengan MT. Galunggung .....	36
<b>Gambar 4.19</b> Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi $T_p$ 3,5 .....	37
<b>Gambar 4.20</b> Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi $T_p$ 4,5 .....	38
<b>Gambar 4.21</b> Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi $T_p$ 5,5 .....	38
<b>Gambar 4.22</b> Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi $T_p$ 6,5 .....	39
<b>Gambar 4.23</b> Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi $T_p$ 7,5 .....	39
<b>Gambar 4.24</b> Grafik Spektra respon Heave dengan variasi $T_p$ 3,5 .....	40
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Spektra respon Heave dengan variasi $T_p$ 4,5 .....	40
<b>Gambar 4.26</b> Grafik Spektra respon Heave dengan variasi $T_p$ 5,5 .....	41
<b>Gambar 4.27</b> Grafik Spektra respon Heave dengan variasi $T_p$ 6,5 .....	41
<b>Gambar 4.28</b> Grafik Spektra respon Heave dengan variasi $T_p$ 7,5 .....	42
<b>Gambar 4.29</b> Grafik Spektra respon Roll dengan variasi $T_p$ 3,5 .....	42
<b>Gambar 4.30</b> Grafik Spektra respon Roll dengan variasi $T_p$ 4,5 .....	42
<b>Gambar 4.31</b> Grafik Spektra respon Roll dengan variasi $T_p$ 5,5 .....	43
<b>Gambar 4.32</b> Grafik Spektra respon Roll dengan variasi $T_p$ 6,5 .....	43
<b>Gambar 4.33</b> Grafik Spektra respon Roll dengan variasi $T_p$ 7,5 .....	43
<b>Gambar 4.34</b> Grafik Spektra respon Pitch dengan variasi $T_p$ 3,5 .....	44
<b>Gambar 4.35</b> Grafik Spektra respon Pitch dengan variasi $T_p$ 4,5 .....	44
<b>Gambar 4.36</b> Grafik Spektra respon Pitch dengan variasi $T_p$ 5,5 .....	44

<b>Gambar 4.37</b> Grafik Spektra respon Pitch dengan variasi $T_p$ 6,5 .....	45
<b>Gambar 4.38</b> Grafik Spektra respon Pitch dengan variasi $T_p$ 7,5 .....	45
<b>Gambar 4.39</b> Grafik <i>Average Heave Amplitude</i> di Tiap Kenaikan $H_s$ .....	46
<b>Gambar 4.40</b> Grafik <i>Average Roll Amplitude</i> di Tiap Kenaikan $H_s$ .....	46
<b>Gambar 4.41</b> Grafik <i>Average Pitch Amplitude</i> di Tiap Kenaikan $H_s$ .....	47
<b>Gambar 4.42</b> Grafik Tegangan Mooring Line 1 .....	49
<b>Gambar 4.43</b> Grafik Tegangan Mooring Line 2 .....	49
<b>Gambar 4.44</b> Grafik Tegangan Mooring Line 3 .....	49
<b>Gambar 4.45</b> Grafik Tegangan Mooring Line 4 .....	50
<b>Gambar 4.46</b> Grafik Tegangan Mooring Line 5 .....	50
<b>Gambar 4.47</b> Grafik Tegangan Mooring Line 6 .....	50

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Metaocean Parameter .....	22
<b>Tabel 3.2</b> <i>Principle Dimention</i> SPM 1134 CNOOC SES Ltd.....	22
<b>Tabel 3.3</b> Karakteristik <i>Mooring Hawser</i> .....	23
<b>Tabel 3.4</b> Karakteristik <i>Anchor Legs</i> .....	23
<b>Tabel 3.5</b> <i>Principle Dimention</i> MT. Galunggung .....	24
<b>Tabel 4.1</b> <i>Principle Dimention</i> SPM 1134 CNOOC SES Ltd.....	25
<b>Tabel 4.2</b> <i>Principle Dimention</i> MT. Galunggung .....	27
<b>Tabel 4.3</b> Data Hidrostatik SPM 1134 CNOOC SES Ltd .....	29
<b>Tabel 4.4</b> Data Hidrostatik MT. Galunggung (PT. Pertamina) .....	29
<b>Tabel 4.5</b> Data Lingkungan Perairan Laut Jawa .....	30
<b>Tabel 4.6</b> Data Titik Berat, Titik Apung dan Jari-jari Girasi <i>Single Point Mooring</i> .....	31
<b>Tabel 4.7</b> Data Titik Berat, Titik Apung dan Jari-jari Girasi MT. Galunggung.....	32
<b>Tabel 4.8</b> Nilai Amplitudo Tertinggi pada saat SPM Tertambat MT. Galunggung.....	36
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Maksimum Spektra respon SPM 1134 .....	45
<b>Tabel 4.10</b> Tabel Sebaran Gelombang Laut Utara Jawa .....	48
<b>Tabel 4.11</b> <i>Ungrouping Mooring Line Tension</i> Kondisi <i>Intact</i> .....	51
<b>Tabel 4.12</b> Keandalan <i>Mooring Lines</i> (intact) dengan Konfigurasi <i>Ungrouping</i> .....	52

## DAFTAR SIMBOL

$F_{cx}$	= Gaya arus pada <i>bow</i> (N)
$F_{cy}$	= Gaya arus pada <i>beam</i> (N)
$C_{cx}$	= Koefisien gaya arus pada <i>bow</i>
$C_{cy}$	= Koefisien gaya arus pada <i>bow</i>
$S$	= Luas penampang pada lambung kapal yang terendam ( $m^2$ )
$V_c$	= Kecepatan arus desain (m/sec)
$F_w$	= gaya angin (N)
$C_s$	= koefisien bentuk
$\rho_a$	= massa jenis udara ( $kg/m^3$ )
$A$	= luas area vertikal yang terkena angin ( $m^2$ )
$V_C$	= kecepatan partikel air (m/s)
$V_w$	= kecepatan angin, knots (m/s)
$V_{10}$	= kecepatan angin pada ketinggian 10 m, knots (m/s)
$x$	= Intensitas objek/ parameter yang ditinjau, misalnya tinggi gelombang sehingga $x=H$
$\tau$	= parameter bentuk ( <i>shape parameter</i> )
$T_p$	= periode puncak spektra (s)
$H_s$	= tinggi gelombang signifikan (m)
$\alpha$	= kemungkinan kejadian yang tidak terjadi pada saat perancangan (1% - 5%)
$l$	= panjang minimum dari <i>chain line</i> (m)
$h$	= $h_m + h_c$
$h_m$	= kedalaman air (m)
$h_c$	= tinggi <i>fairlead</i> diatas permukaan air (m)
$p$	= berat <i>chain line</i> didalam air persatuan panjang (T/m)
$F_H$	= gaya horizontal <i>chain line</i> pada <i>fairlead</i> (N)
$T$	= <i>tension</i> dari chain line pada <i>fairlead</i> (N)
$D$	= <i>length resting on the seabed</i> (m)

$T_{\text{mean}}$  = *mean tension*

$T_{\text{max}}$  = *maximum tension*

$T_{\text{wfmax}}$  = *maximum wave frequency tension*

$T_{\text{wfsig}}$  = *significant wave frequency tension*

$T_{\text{lfmax}}$  = *maximum low-frequency tension*

$T_{\text{lfsig}}$  = *significant low-frequency tension*



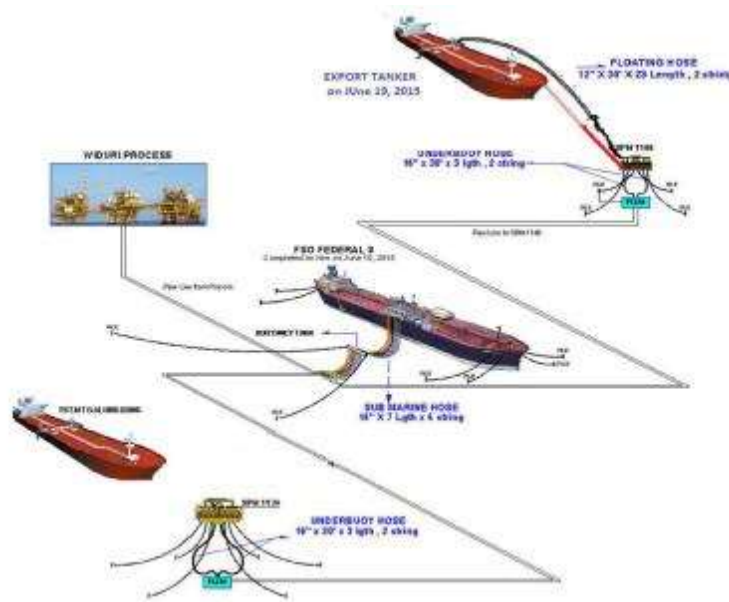
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

*Single Point Mooring* (SPM) adalah bangunan struktur terapung lepas pantai yang berfungsi sebagai penambat dan interkoneksi pada saat proses pemindahan muatan berupa minyak mentah ataupun gas melalui *hose* dan jalur pipa bawah laut. Struktur ini sangat efektif dalam proses pengeboran minyak dan menjadi salah satu komponen yang sering digunakan dalam penambangan minyak bersama dengan FPSO unit. Dalam API RP 2 SK, (1996) disebutkan adanya tipe *Single Point Mooring* diantaranya adalah sistem *turret*, *atenary Anchor Leg Mooring/ Clam* dan *Single Anchor Leg Mooring/ SALM Fixed Tower, Articulated Loading Platform* (ALP), *Single Point and Reservoir* (SPAR), *Single Anchor Loading* (SAL). Dengan adanya beban-beban lingkungan akan berpengaruh terhadap operabilitas dari bangunan lepas pantai (*offshore structure*) dari cara pengukuran kemampuan untuk bekerja pada saat kondisi lingkungan dengan membandingkan waktu kerja dengan total waktu yang dapat di selesaikan (*limited condition*).

China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) adalah perusahaan minyak dan gas milik Republik Rakyat China yang bekerja sama dengan SKK Migas untuk beroperasi di Indonesia. Salah satu kerja sama yang dilakukan adalah dalam operasi pengeboran sumur minyak dan gas di wilayah Blok Sumatera Tenggara (*South East Sumatera Block*) lepas pantai Laut Jawa, ±90 km utara Teluk Jakarta. Blok Sumatera Tenggara ini memiliki 2 terminal, yaitu Terminal Cinta dan Terminal Widuri. Salah satu alat yang digunakan oleh CNOOC SES Ltd dalam beroperasi adalah SPM 1134 yang terletak di Widuri Terminal. SPM 1134 bersifat *floating* (mengapung) untuk mempertahankan posisinya agar tetap stabil dengan menggunakan sistem penjangkar, yaitu *mooring system*. Gerakan (*motion*) dari kapal tanker dan SPM menyebabkan adanya gaya yang bekerja (*tension force, restoring force, dan damping*) pada *mooring system*.



**Gambar 1.1** Blok Widuri Terminal

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

Operabilitas merupakan jumlah waktu bangunan lepas pantai berada di laut dimana struktur masih dapat beroperasi sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Tinggi gelombang dan karakteristik gerak bangunan lepas pantai sangat berpengaruh terhadap operabilitas.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang analisa operabilitas dan keandalan SPM 1134 CNOOC SES Ltd terhadap variasi beban gelombang seratus tahunan dengan mengacu pada data kondisi lingkungan tempat SPM beroperasi. Gelombang yang digerakkan oleh angin adalah komponen utama dari beban lingkungan yang mempengaruhi struktur bangunan apung lepas pantai. Gelombang-gelombang tersebut bersifat random, bervariasi berdasarkan tinggi dan panjang, dan untuk aplikasi pada bangunan apung lepas pantai perlu dilakukan pendekatan dengan memvariasikan gelombang lebih dari satu arah secara serempak. Karena kondisi gelombang yang acak, *sea-state* biasanya dijabarkan dalam bentuk statistik parameter gelombang seperti tinggi gelombang, periode puncak spektral, bentuk spektral dan arah gelombang.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam studi ini adalah:

1. Bagaimana *Response Amplitude Operator* (RAO) dan Operabilitas SPM 1134 CNOOC SES Ltd akibat variasi gelombang?
2. Berapa keandalan operasi SPM #1134 CNOOC SES Ltd akibat variasi gelombang?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang ini dicapai dalam studi ini adalah:

1. Mengetahui *Response Amplitude Operator* (RAO) dan Operabilitas SPM 1134 CNOOC SES Ltd akibat variasi gelombang.
2. Mengetahui keandalan operasi SPM 1134 CNOOC SES Ltd akibat variasi gelombang.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dalam studi ini adalah:

Manfaat analisa tugas akhir ini adalah untuk mengetahui operabilitas dan keandalan SPM 1134 CNOOC SES Ltd akibat variasi gelombang masih dikatakan memenuhi kriteria atau sudah melebihi batas operasi.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Single Point Mooring* yang digunakan adalah SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd.
2. Ukuran utama SPM mengacu pada parameter utama struktur SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd.
3. Ukuran utama kapal tanker mengacu pada parameter utama struktur MT. Galunggung milik PT. Pertamina.
4. Prediksi gerakan pada gelombang acak dilakukan dengan menggunakan formulasi Spektra JONSWAP pada analisa spektra.
5. Konfigurasi jumlah tambat *mooring lines* adalah 6 buah.
6. Analisa pada kondisi tertambat dilakukan pada *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ .

7. Pada permodelan, semua sistem peralatan maupun perlengkapan diatas deck tidak dimodelakan.
8. SPM 1134 dalam kondisi gelombang dan arus sampai dengan 100 tahunan.
9. Arah gelombang yang dihitung adalah dari arah *head seas*.
10. Pergerakan *Hose* dan *Subsea Hose* diabaikan.
11. Permodelan struktur menggunakan *software* Maxsurf Modeler.
12. Analisa RAO pada kondisi tertambat menggunakan *software* ANSYS AQWA.
13. Pada data sebaran gelombang yang digunakan untuk analisis operabilitas ini menggunakan data sebaran gelombang tak terbatas.
14. Pada analisa keandalan menggunakan metode *Advanced First Order Second Moment* (AFOSM) dengan indeks keandalan  $\beta$  (Beta).

## **1.6 Sistematika Penulisan**

1. BAB I, Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.
2. BAB II, Tinjauan pustaka dan dasar teori, menjelaskan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dibahas dalam bab dua.
3. BAB III, Metodologi Penelitian, menjelaskan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Penjelasan tentang langkah-langkah analisa serta langkah permodelan dengan *software*.
4. BAB IV, Analisa data dan pembahasan, membahas hasil dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisa hasil, dan pembahasan hasil analisa.
5. BAB V, Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisa dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir.
6. Daftar pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1 *Single Point Mooring***

*Single Point Mooring* (SPM) adalah bangunan struktur terapung lepas pantai yang berfungsi sebagai penambat dan interkoneksi pada saat proses pemindahan muatan berupa minyak mentah ataupun gas melalui *hose* dan jalur pipa bawah laut. Struktur ini sangat efektif dalam proses pengeboran minyak dan menjadi salah satu komponen yang sering digunakan dalam penambangan minyak bersama dengan FPSO unit.

Macam - macam *Single Mooring Point*:



**Gambar 2.1 *Fixed Tower***

(Sumber: <https://helmidadang.wordpress.com/>)



**Gambar 2.2 *Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)***

(Sumber: <https://helmidadang.wordpress.com/>)



**Gambar 2.3** Single Point and Reservoir (SPAR)

(Sumber: <https://helmidadang.wordpress.com/>)



**Gambar 2.4** Single-Anchor Loading (SAL)

(Sumber: <https://helmidadang.wordpress.com/>)



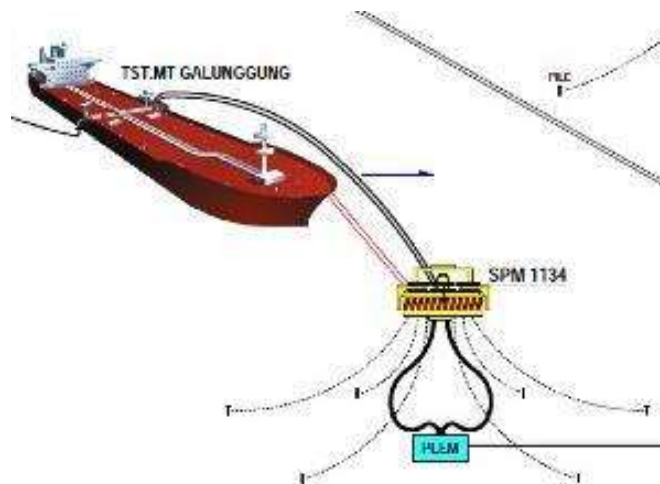
**Gambar 2.5** Turret Mooring

(Sumber: <https://helmidadang.wordpress.com/>)

Terminal SPM adalah suatu fasilitas yang memiliki dimensi pada bidang horisontal yang kecil, dimana tanker dengan ukuran yang besar ditambatkan melalui suatu *bow hawser* dan memungkinkan tanker tersebut untuk berputar 360° mengelilingi titik penambatannya (Rezha, 2013). Dalam proses *onloading* dan *offloading*, posisi SPM akan meminimalkan beban lingkungan yang bekerja pada kapal ketika posisi kapal ditambatkan. Tujuan dari sistem tambat pada dasarnya adalah untuk mengurangi gerakan struktur pada bidang horisontal dan menjaga posisi yang dibutuhkan.

### 2.1.2 Loading Muaran dengan Single Point Mooring

Dalam system SPM 1134 CNOOC SES Ltd ini adalah termasuk tipe CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*) yang tersusun dari sebuah *buoy body* dengan terdapat beberapa *cartenary chain leg* yang tertambat pada dasar laut. Konfigurasi dari CALM *Buoy* adalah *hawser* yang menghubungkan antara kapal tanker dengan *buoy*. Selain itu terdapat *riser* yang akan menyalurkan minyak dari kapal tanker yang tertambat melalui *floating hoses*.



**Gambar 2.6** SPM 1134 tertambat dengan tanker

(Sumber: CNOOC SES Ltd. 2016)

### 2.1.3 Mooring Line

*Mooring line* adalah sebuah tali tebal atau kabel yang digunakan untuk menambat sebuah kapal agar dapat tetap berada pada posisi yang stabil. Pada umumnya digunakan beberapa *mooring line* pada satu kapal dengan tujuan agar

tegangan yang terjadi tidak terkonsentrasi, selain itu juga sebagai sistem darurat jika terdapat kerusakan pada salah satu *mooring line*.

Untuk menentukan panjang dari *mooring line* ini agar penambatnya memiliki posisi yang dibutuhkan dan memiliki *pretension* yang sesuai, digunakan rumus seperti di bawah ini :

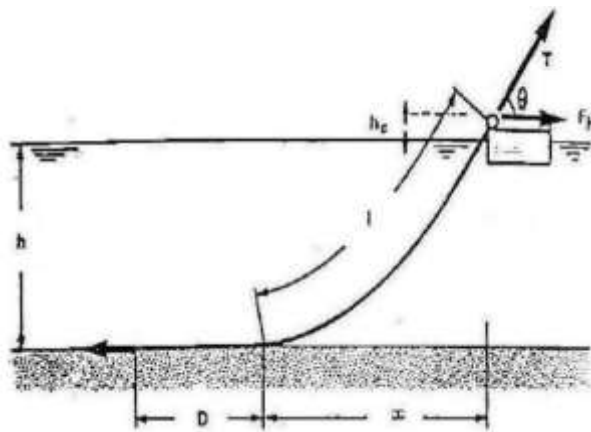
$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{ph}} - 1 \quad \text{atau} \quad \frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2FH}{ph}} - 1 \quad (2.1)$$

Dimana:

- $l$  = Panjang minimum dari *chain line*
- $h$  =  $h_m + h_c$
- $h_m$  = Kedalaman air
- $h_c$  = Tinggi *fairlead* di atas permukaan air
- $p$  = Berat *chain* di dalam air persatuan panjang
- $FH$  = Gaya horizontal *chain line* pada *fairlead*
- $D$  = *Length reasting on the seabed*

Harga  $D$  dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari *mooring line*, yaitu:

1. 200 s/d 300 m (*mooring line* dengan konfigurasi *wire rope anchor lines*).
2. 50 s/d 100 m (*mooring line* yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*).



**Gambar 2.7** *Caterany System*

(Sumber: Murtedjo, 1999)

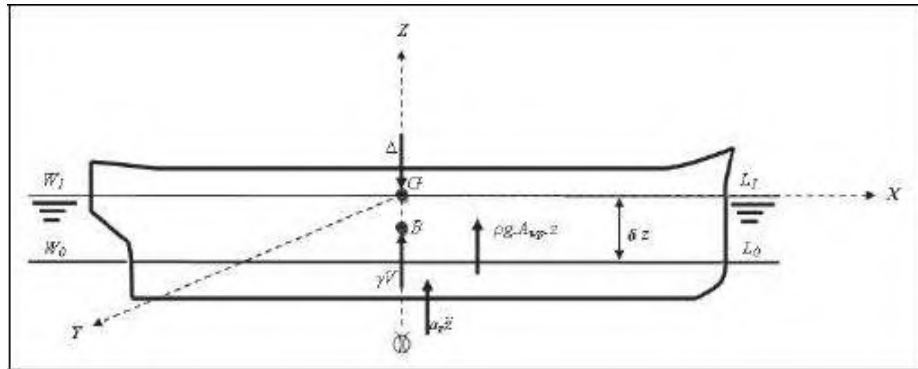


### 2.1.4 Derajat Kebebasan Gerak Bangunan Apung (DOF)

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (*Six Degree Of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional yaitu *surge*, *sway* dan *heave* serta 3 mode gerakan rotasional yaitu *roll*, *pitch* dan *yaw*, dimana enam mode gerakan tersebut adalah:

#### 1. Heave

*Heave* adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana *heaving* adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakannya tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang berupa gaya gelombang (Murtedjo, 1999).



**Gambar 2.8** Ilustrasi Gerakan *Heaving*

(Sumber: Murtedjo, 1999)

Dimana:

$\Delta$  = Displacement struktur terapung (ton)

G = Titik tangkap gaya berat (m)

B = Titik tangkap gaya angkat ke atas (m)

$\gamma V$  = Gaya angkat ke atas

$W_0L_0$  = Garis air keadaan awal

$W_1L_1$  = Garis air keadaan heave

$a_z Z$  = Tambahan gaya angkat ke atas karena massa tambah

$\Delta_z$  = Besar jarak simpangan heave (m)

Dimana persamaan gelombang regular dapat ditulis sebagai berikut:

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega_e t) \quad (2.2)$$

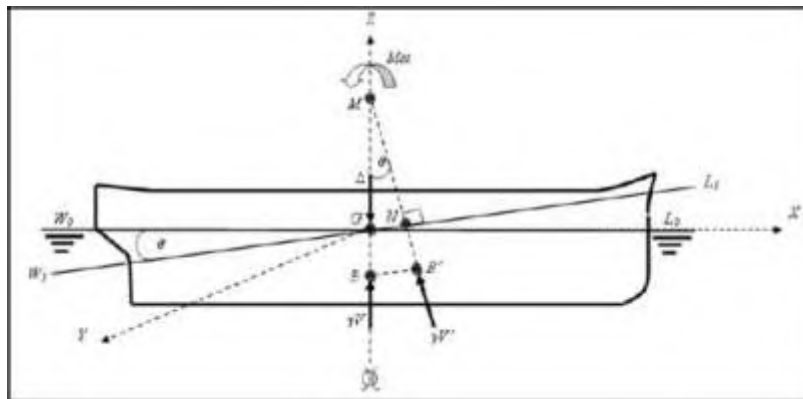
Secara umum persamaan gerakan heaving suatu kapal pada gelombang reguler adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.3)$$

Penyelesaian persamaan umum diatas adalah:

$$Z(t) = Z_h(t) + Z_p(t) \quad (2.4)$$

## 2. Pitch



**Gambar 2.9** Ilustrasi Gerakan *Pitching*

(Sumber: Murtedjo, 1999)

Dimana:

- $\Delta$  = Displacement struktur terapung (ton)
- $G$  = Titik tangkap gaya berat (m)
- $B$  = Titik tangkap gaya angkat ke atas kondisi awal (m)
- $B'$  = Titik tangkap gaya angkat ke atas kondisi *pitching* (m)
- $\gamma V$  = Gaya angkat ke atas kondisi awal
- $\gamma V'$  = Gaya angkat ke atas kondisi *pitching*
- $W_0L_0$  = Garis air keadaan awal
- $W_1L_1$  = Garis air keadaan heave
- $\theta$  = Sudut *pitching*
- $M$  = Titik metaceter
- $Mst$  = Momen stabilitas

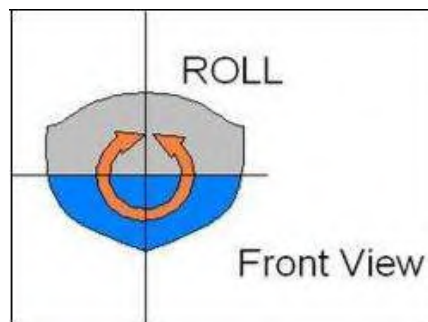
*Pitching* merupakan gerakan osilasi rotasional pada arah sumbu melintang (sumbu  $y$ ), dimana gerakan rotasional pada gerakan *pitching* mengakibatkan beberapa momen, yaitu:

- a. Momen inersia
- b. Momen Redaman
- c. Momen Pengembali
- d. Momen Eksitasi

Dimana persamaan umum dari gerakan *pitching* pada gelombang reguler adalah sebagai berikut:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.5)$$

### 3. Roll



**Gambar 2.10** Ilustrasi Gerakan *Rolling*

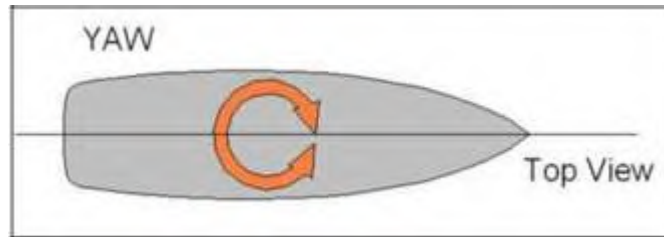
(Sumber: Djatmiko, 2012)

*Rolling* merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu longitudinal (sumbu  $x$ ), dimana persamaan umum dari gerakan rolling kapal pada gelombang reguler dapat di tulis sebagai berikut:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.6)$$

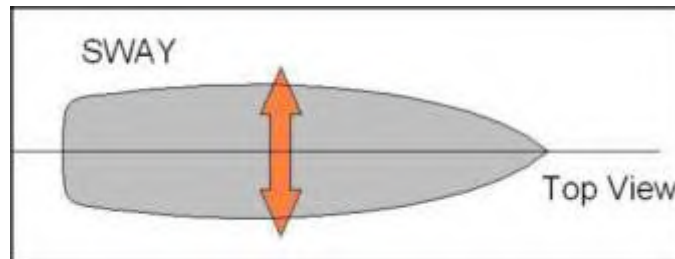
### 4. Yaw

*Yawing* merupakan gerakan rotasional pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu vertikal (sumbu  $z$ ).



**Gambar 2.11** Ilustrasi Gerakan *Yawing*  
(Sumber: Djatmiko, 2012)

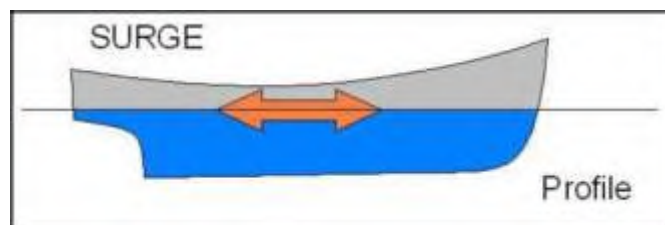
## 5. Sway



**Gambar 2.12** Ilustrasi Gerakan *Swaying*  
(Sumber: Djatmiko, 2012)

*Swaying* merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu melintang (sumbu y).

## 6. Surge



**Gambar 2.13** Ilustrasi Gerakan *Surging*  
(Sumber: Djatmiko, 2012)

*Surge* merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x).

### 2.1.5 Respon Amplitude Operator

*Response Amplitude Operator* (RAO) merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987) RAO dapat didefinisikan sebagai:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.7)$$

Dimana:

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djtmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan (2.1).

Sedangkan untuk respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ( $k_w = \omega^2/g$ ) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012)

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{ko}(\omega)}{\zeta_o(\omega)} = \frac{\zeta_{ko}}{(\frac{\omega^2}{g})\zeta_o} \text{ (rad/m)} \quad (2.8)$$

### 2.1.6 Spektra Gelombang

Spektrum Gelombang adalah karakteristik dari suatu gelombang pada perairan tertentu dimana intensitas gelombang dalam membentuk gelombang acak. Model matematik spektrum secara umum didasarkan pada 1 (satu) atau lebih parameter. Spektrum gelombang dinyatakan dalam:

1. Bentuk spektra kepadatan energi gelombang
2. Energi per  $1\text{m}^2$  luas permukaan

Spektra gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) merupakan salah satu jenis spektrum yang sering digunakan dalam perhitungan

gelombang. Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan di *North Sea*. Berikut persamaan dari spektrum JONSWAP:

$$S(\omega) = a g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] \gamma^{\exp \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2 \tau^2 \omega_0^2} \right]} \quad (2.9)$$

Dimana:

$S(\omega)$  = spektrum gelombang

$\gamma$  = parameter puncak (*peakedness parameter*)

$\tau$  = parameter bentuk (*shape parameter*)

untuk  $\omega \leq \omega_p = 0,07$  dan  $\omega \geq \omega_p = 0,09$

Sedangkan, nilai dari parameter puncak ( $\gamma$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\gamma = EXP \left[ 3,4843 \left( 1 - 0,1975 \left( 0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{H_s^2} \right) \right] \quad (2.10)$$

Dimana:

$T_p$  = periode puncak spektra

$H_s$  = tinggi gelombang signifikan

### 2.1.7 Respon Spektrum

Respon spektrum didefinisikan sebagai respon energi dari struktur akibat energi gelombang. Pada sistem linier, spektra respon didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang, yang secara persamaan matematis dapat ditulis dengan:

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.11)$$

Dimana:

$S_R(\omega)$  = Spektrum Respon ( $m^2$ -sec)

$S(\omega)$  = Spektrum Gelombang ( $m^2$ -sec)

RAO = *Response Amplitude Operator* (m/m)

$\omega$  = Frekuensi Gelombang (rad/sec)

### 2.1.8 Operabilitas

Operabilitas adalah kemampuan dari suatu struktur untuk bekerja pada saat kondisi lingkungan tertentu dengan membandingkan waktu kerja sehingga pekerjaan dapat diselesaikan (*limited condition*). Pertimbangan kriteria harus dilakukan secara inklusif, artinya bila kriteria telah terlampaui maka pada tahap tersebutlah batas operasi ditetapkan.

Pengukuran ini menurut produktivitas *system offshore* hanya dengan melihat cuaca tertentu kemudian dilakukan perbandingan dari sistem yang berbeda. Operabilitas tidak mengidentifikasi sistem operasi pada kondisi *shut down*:

$$\text{Operabilitas} = \frac{\text{Jumlah Operasi}}{\text{Total Operasi}} \times 100\% \quad (2.12)$$

### 2.1.9 Analisa Keandalan

#### 2.1.9.1 Konsep Analisa Keandalan dalam Perancangan

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk mengetahui tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007). Pemakaian konsep analisa keandalan yang didasari oleh metode probabilitik telah berkembang dan semakin penting untuk memecahkan masalah-masalah dalam perancangan struktur. Kecenderungan ini karena adanya kerusakan pada sistem rekayasa yang disebabkan terjadinya interaksi oleh beban statis maupun dinamis.

Dalam konsep ini akan dijelaskan bagaimana perancangan dapat menggambarkan suatu sistem dengan segala hal yang akan mempengaruhi kerusakan pada sistem tersebut misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisa ini. Dalam ketidakpastian yang diterima oleh struktur dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

#### 1. Variabilitas fisik

Adalah ketidakpastian yang bersifat acak atau bervariasi seperti beban lingkungan, sifat material dan ukuran material. Keragaman fisik ini

biasanya dinyatakan dalam data sampel atas pertimbangan praktis dan ekonomis.

2. Ketidakpastian statik

Adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan nilai suatu parameter. Data yang dibuat untuk membuat model diambil dari berbagai macam keragaman fisik diatas.

3. Ketidakpastian model

Adalah ketidakpastian yang diambil dari asumsi dari jenis struktur yang akan dimodelkan.

### 2.1.9.2 Jenis Metode Analisa Keandalan

1. Metode Analisa Keandalan Level-0

Metode ini pada dasarnya bukan merupakan metode analisa keandalan, tetapi metode untuk perancangan atau pemeriksaan keamanan stuktur. Dalam metode ini struktur dinyatakan berdasarkan pada stuktur elemen dasar dengan menggunakan faktor keamanan parsial atau koefisien parsial yang berhubungan dengan karakteristik awal dari perubahan beban dan struktur utama.

2. Metode Analisa Keandalan Level-2

Metode ini dilakukan dengan cara pendekatan iterasi untuk memperkirakan probabilitas kegagalan suatu struktur atau *sub*-struktur. Metode ini memiliki titik tunggal sebagai pengecekan pada bidang kegagalan (*failure surface*) yaitu =  $X_1, X_2, \dots, X_3$  yang dinyatakan dalam perubahan dasar (n), dimensi  $\omega$  (*n-dimensional basic variavel space*).

Bidang kegagalan dibagi menjadi 2 daerah yaitu sebuah daerah kegagalan (*failure region*) dan sebuah daerah aman (*safe region*). Bidang kegagalan secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berbentuk sebagai berikut:

$$f(x) = f(X_1, X_2, \dots, X_3) = 0 \quad (2.13)$$



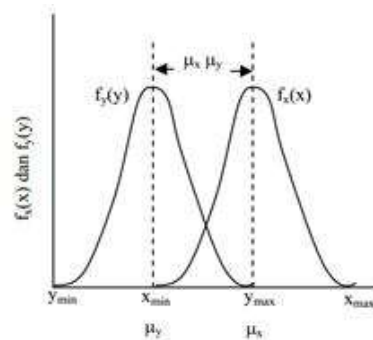
Harga positif dari persamaan diatas menunjukkan adanya daerah aman (*safe region*) dan harga negatif menunjukkan adanya daerah tidak aman (*failure region*).

### 2.1.9.3 Keandalan pada Sistem Rekayasa

Pada dasarnya sistem keandalan dapat ditunjukkan sebagai problem dalam *demand* (tuntutan atau beban), *capacity* dan didasarkan atas *safety factor* (angka keamanan). Ukuran untuk konvensional angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas,  $X^*$  dan beban  $Y^*$  yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \quad (2.14)$$

Mengingat nilai nominal dari kapasitas,  $X^*$  dan beban,  $Y^*$  tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang. Dengan demikian, angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan  $Z = X/Y$  dari dua variabel acak  $X$  dan  $Y$ .



**Gambar 2.14** Fungsi Kerapatan Peluang (fkp) dari kapasitas  $X$  dan tuntutan  $Y$   
(Sumber : Rosyid, 2007)

### 2.1.9.4 Indeks Kegagalan

Cara lain untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan  $\beta$ , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan,  $S$ , yaitu:

$$\beta = \frac{\mu_S}{\sigma_S} \quad (2.15)$$

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan,  $S = 0$ , dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keamanan  $\mu_S$ , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku  $\sigma_S$  pada jarak ini.

Artinya, jarak antara  $S = 0$  dengan  $\mu_S$  ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relatif terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan ( $V_S$ ), atau dapat dituliskan  $\beta = \text{wingi murah}$  maka peluang kegagalan adalah:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.16)$$

dan

$$K = \Phi(\beta) \quad (2.17)$$

#### **2.1.9.5 Moda Kegagalan**

Langkah pertama sebelum menentukan mode kegagalan adalah menentukan kegagalan yang akan dialami oleh struktur (Rosyid,2008). Moda Kegagalan terdiri dari dua parameter penting yaitu kekuatan dan beban.

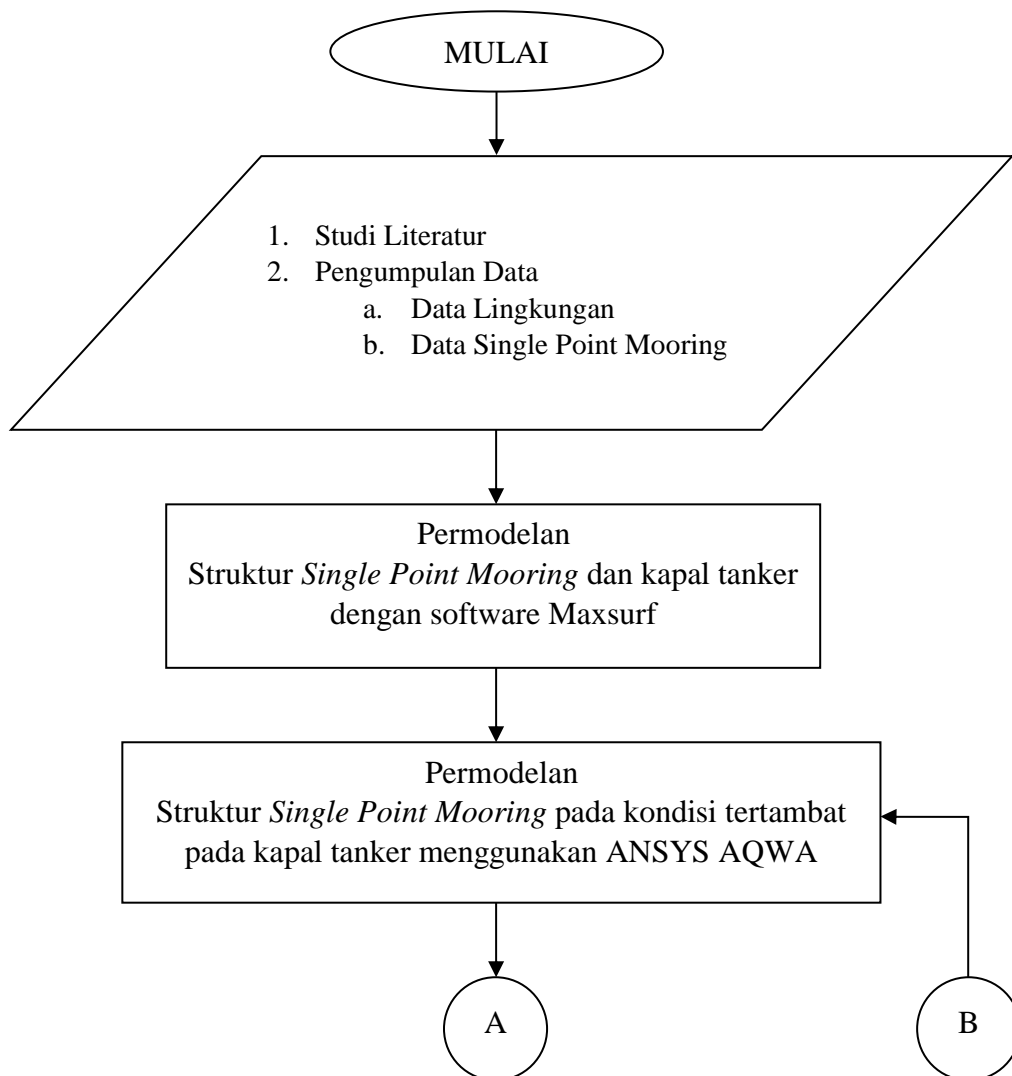
$$MK = \text{Tension} > MBL \quad (2.18)$$

Mode Kegagalan yang akan ditinjau disebabkan karena *total cumulative damage*. Oleh sebab itu akan dikatakan gagal apabila *total cumulative damage* lebih besar dari nilai *damage limit*.

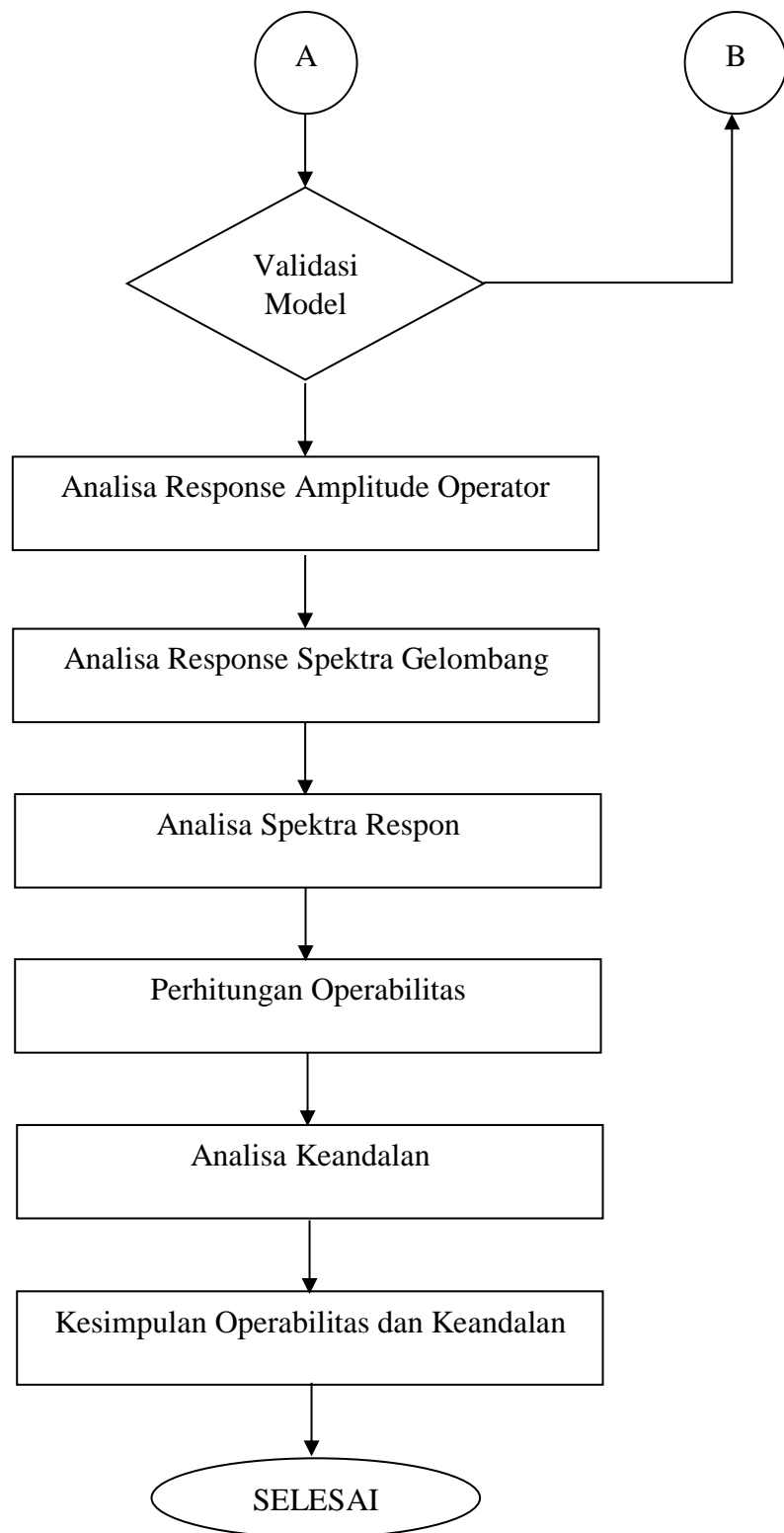
## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir (Lanjutan)

### 3.2 Penjelasan Metodologi Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1 secara mendetail akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur ini akan dilakukan untuk mendapatkan data tentang SPM 1134 CNOOC SES Ltd dan Kapal Tanker yang tertambat pada SPM serta pengumpulan data lingkungan meliputi angin, gelombang dan arus.

2. Pemodelan SPM 1134 dan kapal tanker dengan *software* Maxsurf Modeler  
Pemodelan struktur SPM 1134 CNOOC SES Ltd dan kapal tanker ini akan dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler.

3. Pemodelan SPM 1134 dan Kapal Tanker dengan *software* ANSYS AQWA  
Pemodelan struktur SPM 1134 CNOOC SES Ltd dengan menambatkan kapal tanker yang akan bertambat ke SPM akan dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS AQWA.

4. Analisa *Response Amplitude Operator*

Menganalisa karakteristik RAO pada saat SPM 1134 CNOOC SES Ltd dan kapal tanker terkena gelombang.

5. Analisa Spektra Gelombang

Analisa spektra gelombang ini disesuaikan dengan kondisi lingkungan tempat struktur beroperasi.

6. Analisa Spektra respon

Analisa spektra respon ini akan dipilih sesuai dengan perairan tempat struktur SPM 1134 CNOOC SES Ltd beroperasi.

7. Analisa Operabilitas

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui batas kondisi operasi dari SPM 1134 CNOOC SES Ltd. akibat variasi tinggi gelombang seratus tahunan.

## 8. Analisa Keandalan

Analisa keandalan ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari struktur SPM 1134 CNOOC SES Ltd berdasarkan moda kegagalan sehingga bisa diketahui peluang keberhasilan dari struktur.

### 3.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam analisa operabilitas dan keandalan SPM 1134 CNOOC SES Ltd ini adalah data struktur dan data lingkungan. Data struktur terdiri dari data MT. Galunggung dan SPM 1134.

#### 3.3.1 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan adalah kondisi lingkungan pada perairan Laut Jawa Utara (Widuri Area).

**Tabel 3.1** *Metaocean Parameter*

Metaocean Parameter	Return Period (Years)		Unit
	10	100	
Wind Speed	29,14	37,90	m/s
Significant Wave Height Period	3,42	4,52	m
	6,28	6,66	s
Current Speed			
at 0% of Depth	1,69	2,03	m/s
10% of Depth	1,37	1,63	m/s
20% of Depth	1,15	1,33	m/s
30% of Depth	0,98	1,11	m/s
40% of Depth	0,86	0,96	m/s
50% of Depth	0,77	0,84	m/s
60% of Depth	0,70	0,76	m/s
70% of Depth	0,65	0,69	m/s
80% of Depth	0,62	0,65	m/s
90% of Depth	0,59	0,62	m/s
100% of Depth	0,58	0,59	m/s

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

### 3.3.2 Data Single Point Mooring 1134 CNOOC SES Ltd

#### 1. Single Point Mooring

**Tabel 3.2** Principle Dimention SPM 1134 CNOOC SES Ltd.

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Outer Diameter</i>	M	13,5
<i>Depth</i>	M	4,3
<i>Draft</i>	M	3,289
<i>Centre of Gravity (KG)</i>	M	3,289
<i>Displacement</i>	T	478,7

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2009)

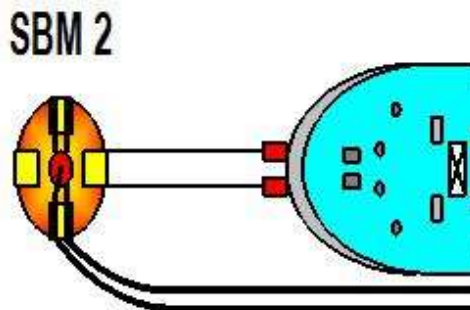
#### 2. Mooring Hawsers

**Tabel 3.3** Karakteristik Mooring Hawser

<i>Designation</i>	<i>Data</i>
<i>Type</i>	<i>Grommet</i>
<i>Number of Lines</i>	<i>Twin Line</i>
<i>Material</i>	Nylon
<i>Length</i>	204,25 m
<i>Circumference</i>	15"
<i>Design Mooring Force</i>	400 tonnes

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2009)

Dari data yang telah didapat dari CNOOC SES Ltd, hawser yang menghubungkan SPM 1134 dengan MT. Galunggung milik PT. Pertamina pada saat proses *offloading*.



**Gambar 3.2** Hawser SMP to Ship

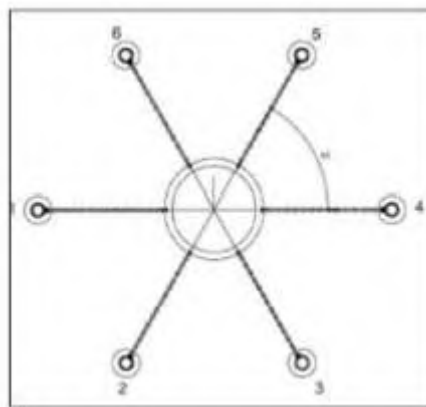
(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

### 3. Anchor Legs (Top View)

**Tabel 3.4** Karakteristik *Anchor Legs*

<i>Designation</i>	<i>Data</i>
<i>Number of Legs</i>	6
<i>Anchoring pattern</i>	Even Spacing ( $60^0$ )
<i>Paid Out Length</i>	278,33 m
<i>Chain diameter</i>	4,25"
<i>Minimum breaking load</i>	5727,08 kN
<i>Minimum breaking load after corrosion</i>	4275,69 kN
<i>Unit Weight in Air</i>	210,16 kg/m
<i>Unit weight in Water</i>	182,72 kg/m
<i>Mass/Unit Length</i>	0,274 ton/m
<i>Stiffness EA</i>	868 MN

(Sumber CNOOC SES Ltd, 2016)



**Gambar 3.3** *Anchor Legs (Top View)*

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

### 4. Data MT. Galunggung

Berikut adalah *principle dimention* MT. Galunggung:

**Tabel 3.5** *Principle Dimention* MT. Galunggung

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Length, LOA</i>	m	245
<i>Breadth, B</i>	m	44
<i>Depth, D</i>	m	18,9
<i>Draft to Baseline, T</i>	m	14,9
KG (VCG)	m	14,8
Displacement	t	115473

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Permodelan

##### 4.1.1 *Single Point Mooring* (SPM)

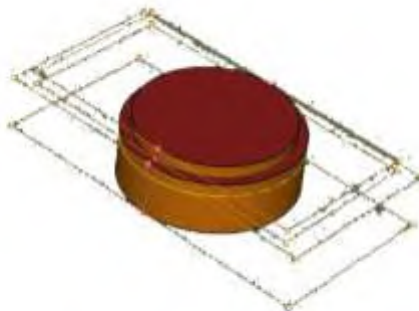
*Single Point Mooring* (SPM) yang digunakan adalah SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd yang beroperasi di Laut Jawa Utara (Widuri Terminal). Pemodelan *surface* ini menggunakan *software* Maxsurf Modeler yang akan menghasilkan model dan data hidrostatik. Berikut adalah data yang digunakan dalam pemodelan SPM #1134 pada *software* Maxsurf Modeler:

**Tabel 4.1** *Principle Dimention* SPM 1134 CNOOC SES Ltd.

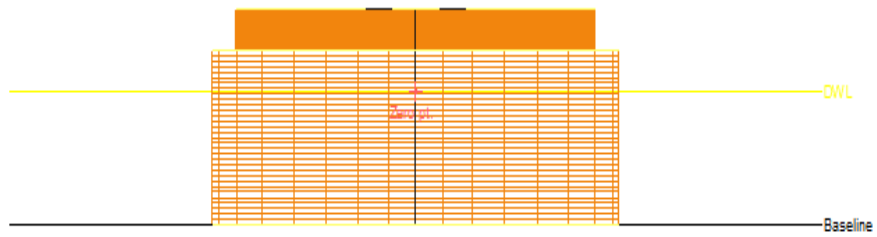
<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Outer Diameter</i>	M	13,5
<i>Depth</i>	M	4,3
<i>Draft</i>	M	3,289
<i>Centre of Gravity</i> (KG)	M	3,289
<i>Displacement</i>	T	478,7

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

Hasil pemodelan pada *software* Maxsurf Modeler untuk SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd dapat dilihat pada gambar berikut ini:



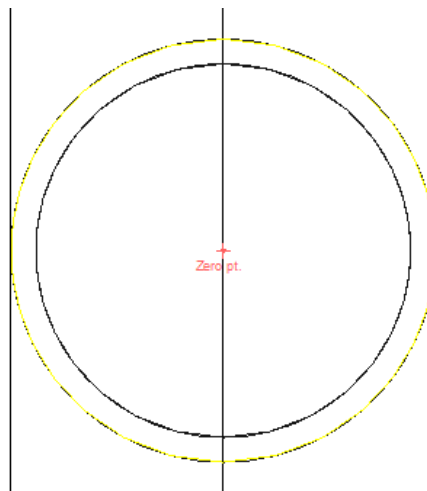
**Gambar 4.1** Hasil Pemodelan SPM 1134 pada *Software* Maxsurf



**Gambar 4.2** Hasil Pemodelan SPM 1134 pada *Software* Maxsurf  
Tampak *Body Plan*



**Gambar 4.3** Hasil Pemodelan SPM 1134 pada *Software* Maxsurf Tampak  
*Shear Plan*



**Gambar 4.4** Hasil Pemodelan SPM 1134 pada *Software* Maxsurf Tampak *Half Breadth*

#### 4.1.2 MT. Galunggung

Dalam pemodelan MT. Galunggung milik PT. Pertamina yang beroperasi diperairan Laut Jawa Utara (Widuri Terminal), permodelan *surface* dilakukan menggunakan *software* Maxsurf Modeler yang bertujuan untuk mendapatkan model dan data hidrostatiknya. Model dan data hidrostatik ini kemudian akan di *input* ke *software* Ansys AQWA untuk perhitungan *Response Amplitude Operator* (RAO) pada kondisi tertambat. Berikut adalah data yang digunakan dalam pemodelan MT. Galunggung pada *software* Maxsurf Modeler:

**Tabel 4.2** *Principle Dimention* MT. Galunggung

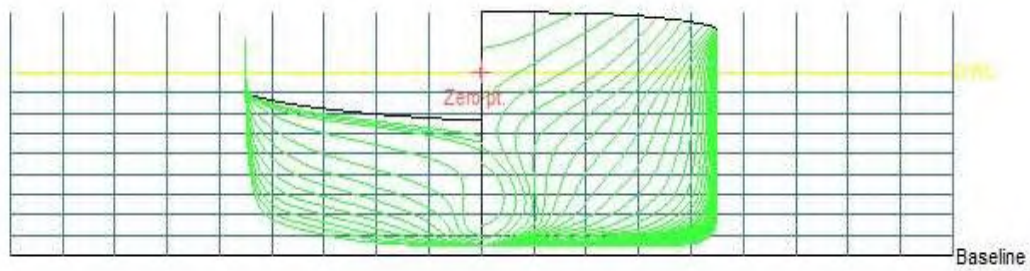
<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Length, LOA</i>	m	245
<i>Breadth, B</i>	m	44
<i>Depth, D</i>	m	18,9
<i>Draft to Baseline, T</i>	m	14,9
KG (VCG)	m	14,8
Displacement	t	115473

(Sumber: PT. Pertamina, 2016)

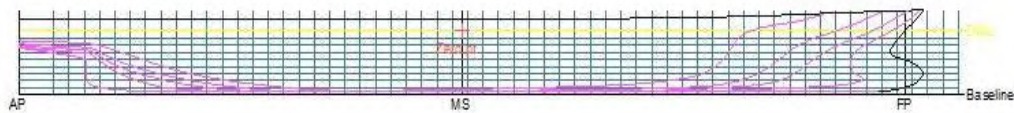
Hasil pemodelan pada *software* Maxsurf Modeler untuk MT. Galunggung milik PT. Pertamina dapat dilihat pada gambar berikut ini:



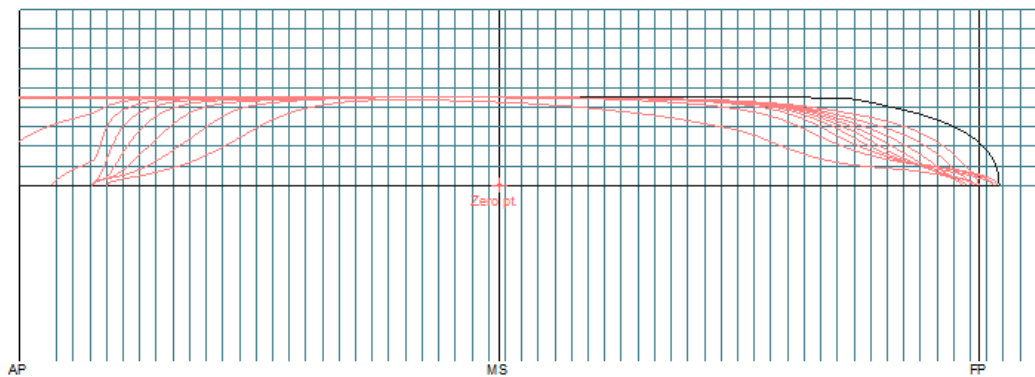
**Gambar 4.5** Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada *Software* Maxsurf



**Gambar 4.6** Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada *Software* Maxsurf Tampak *Body Plan*



**Gambar 4.7** Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada *Software* Maxsurf Tampak *Sheer Plan*



**Gambar 4.8** Hasil Pemodelan MT. Galunggung pada *Software* Maxsurf Tampak *Half Breadth Plan*

## 4.2 Validasi Pemodelan

### 4.2.1 Single Point Mooring (SPM)

Setelah pemodelan SPM 1134 dilakukan, maka akan didapatkan data hidrostatik. Dimana data ini akan divalidasi agar mendapatkan model struktur yang sebenarnya. Validasi model ini dilakukan dengan cara membandingkan data hidrostatik yang telah dihasilkan oleh *software* Maxsurf Modeler dengan data hidrostatik yang sudah ada. Berikut dibawah ini terdapat tabel data hidrostatik SPM 1134:

**Tabel 4.3** Data Hidrostatik SPM 1134 CNOOC SES Ltd

No.	Parameter Hidrostatik	Unit	Data	Model	Koreksi (%)
1.	Displacement	ton	478,7	478,7	0,00
2.	KG	m	3,289	3,289	0,00

#### 4.2.2 MT. Galunggung

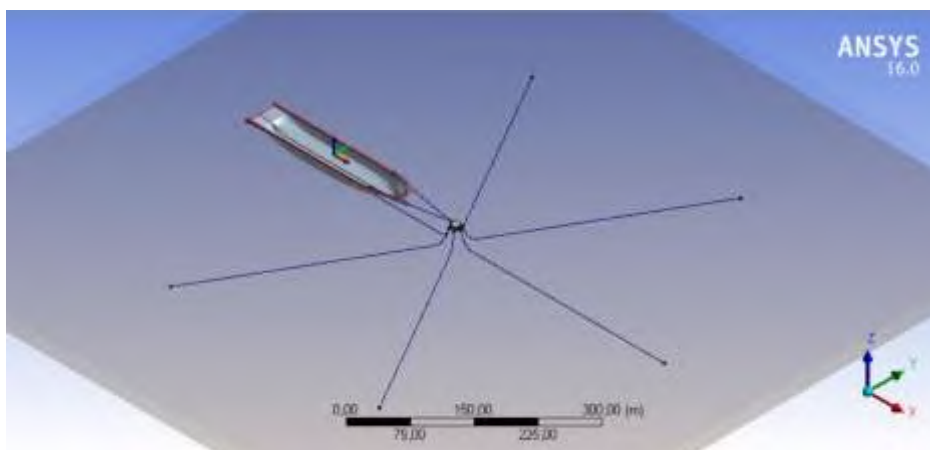
Validasi data hidrostatik pada MT. Galunggung dengan cara membandingkan data hidrostatik yang telah dihasilkan oleh *software* Macsurf Modeler dengan data hidrostatik yang sudah ada. Berikut dibawah ini terdapat tabel data hidrostatik MT. Galunggung:

**Tabel 4.4** Data Hidrostatik MT. Galunggung (PT. Pertamina)

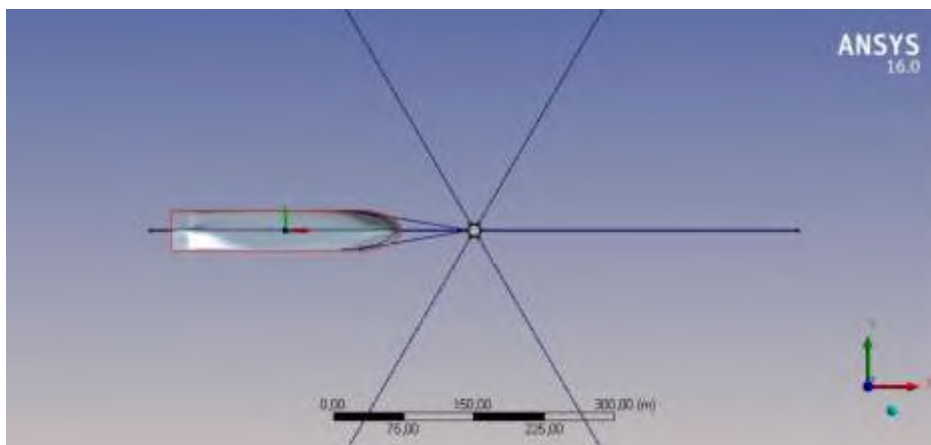
No.	Parameter Hidrostatik	Unit	Data	Model	Koreksi (%)
1.	Displacement	ton	115473	115473	0,00
2.	KG	m	14,8	14,8	0,00

#### 4.3 Konfigurasi Anchor Legs dan Hawser

Pada analisa ini, SPM 1134 dimodelkan dengan menggunakan *anchor legs* sejumlah 6 buah. Sedangkan MT. Galunggung dimodelkan dengan menggunakan *hawser* sejumlah 2 buah. Dimana 2 buah *hawser* ini menghubungkan antara SPM 1134 dengan MT. Galunggung. Berikut dibawah ini adalah gambaran pemodelannya:



**Gambar 4.9** Konfigurasi *Anchor Legs* dan *Hawser* pada Ansys AQWA (Tampak Samping)



**Gambar 4.10** Konfigurasi *Anchor Legs* dan *Hawser* pada Ansys AQWA  
(Tampak Atas)

*Anchor legs* yang telah dipasangkan pada SPM 1134 ini memiliki panjang yang sama yaitu 337,5 m. Sedangkan untuk *hawser* yang terpasang, didesain dengan panjang yang sama yaitu 75 m.

#### 4.4 Analisa Gerakan Struktur

##### 4.4.1 *Single Point Mooring*

Analisa pada gerakan SPM 1134 ini dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys AQWA. Model SPM 1134 ini sebelumnya telah dimodelkan pada Maxsurf Modeler yang kemudian di-*input* ke Ansys AQWA sehingga tidak perlu lagi memodelkan untuk pembentukan geometrinya.

Data lain yang di-*input* untuk analisa gerakan ini antara lain arah sudut datang gelombang, kondisi kapal menyangkut draft, titik berat, titik apung, *displacement*, volume *displacement*, jari-jari girasi dan data lingkungan perairan Laut Jawa pada kondisi ekstrem 100 tahunan. Dimana kondisi lingkungan ini adalah tempat beroperasinya SPM 1134 seperti tinggi gelombang, periode gelombang dan kedalaman perairan.

**Tabel 4.5** Data Lingkungan Perairan Laut Jawa

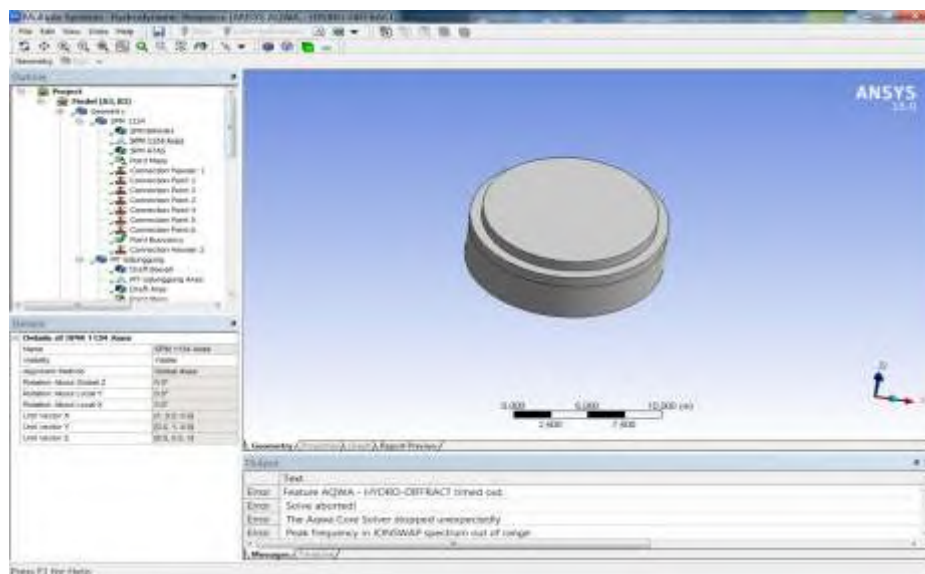
<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>100-years return period</i>
Kedalaman	m	24
Tinggi Gelombang Signifikan/Hs	m	4,52
Periode Gelombang Signifikan/Ts	s	6,66
Spektrum		Jonswap

(Sumber: CNOOC SES Ltd, 2016)

**Tabel 4.6** Data Titik Berat, Titik Apung dan Jari-jari Girasi *Single Point Mooring*

	Unit	SPM
<i>Displacement</i>	T	478,7
<i>Volume Displacement</i>	m <sup>3</sup>	467,033
LCG (x)	M	0
TCG (y)	M	0
VCG / KG (z)	M	3,289
KB	M	1,645
Kxx	M	5,4
Kyy	M	3,375
Kzz	M	3,375

Berikut adalah hasil model SPM dari Ansys AQWA berdasarkan data yang di *inputkan* setelah semua data dimasukkan.



**Gambar 4.11** Model SPM pada Ansys AQWA

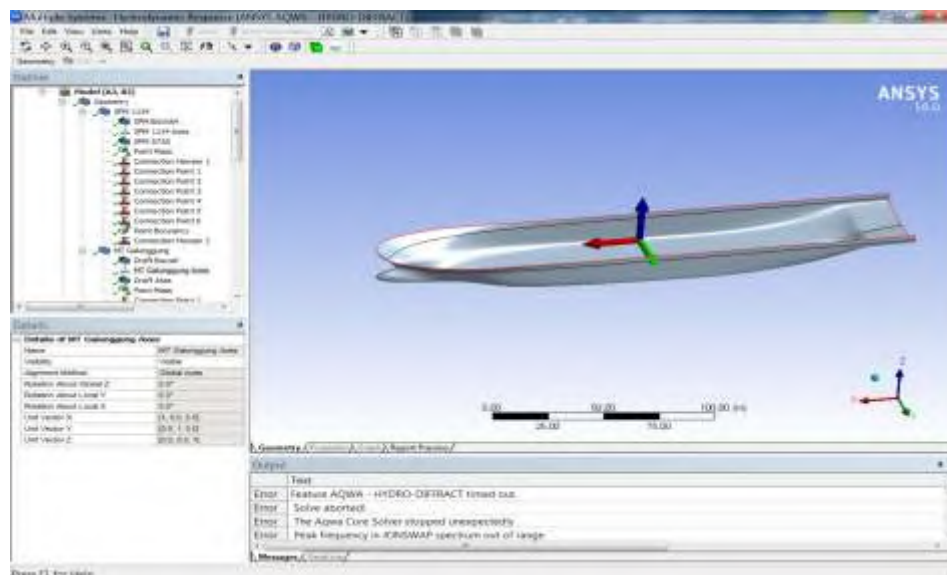
#### 4.4.2 MT. Galunggung

Analisa gerakan pada MT. Galunggung yang dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys AQWA. Model ini sebelumnya telah dimodelkan pada Maxsurf Modeler yang di-*input* beserta data-data lainnya seperti pada analisa gerakan SPM 1134.

**Tabel 4.7** Data Titik Berat, Titik Apung dan Jari-jari Girasi MT. Galunggung

	Unit	MT. Galunggung
<i>Displacement</i>	T	115473
<i>Volume Displacement</i>	m <sup>3</sup>	112656
LCG (x)	M	214,785
TCG (y)	M	0
VCG / KG (z)	M	0,1
KB	M	8,393
Kxx	M	17,6
Kyy	M	61,25
Kzz	M	61,25

Berikut adalah hasil model MT. Galunggung dari Ansys AQWA berdasarkan data yang *diinputkan* setelah semua data dimasukkan.



**Gambar 4.12** Model MT. Galunggung pada Ansys AQWA

## 4.5 Response Amplitude Operator (RAO)

RAO yang didapatkan dari *software* Ansys AQWA digunakan untuk analisis respon gerak terhadap SPM 1134 dan MT. Galunggung. Pada analisis respon ini, RAO diperhitungkan saat kondisi terapung bebas (*free floating*) maupun tertambat. Arah pembebanan (*heading angle*) yang digunakan adalah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ . Respon gerakan yang terjadi untuk masing-masing arah pembebanan

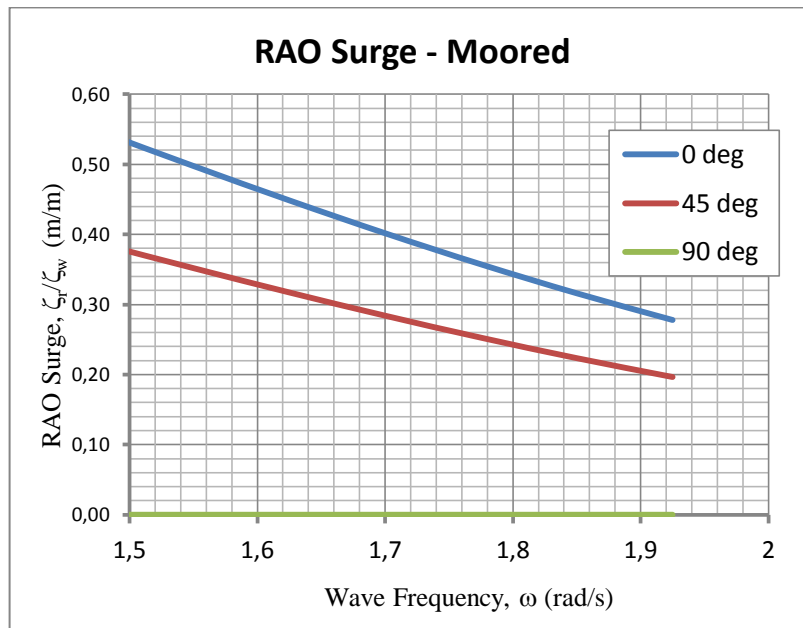


dibagi menjadi 2, yaitu gerakan translasional dan gerakan rotasional. Gerakan ini masing-masing dibagi menjadi 3, yaitu *surge*, *sway*, *heave* (m/m) untuk gerakan translasional dan *roll*, *pitch*, *yaw* (deg/m) untuk gerakan rotasional. Amplitudo gerakan struktur dapat dilihat dari grafik RAO dimana grafik tersebut menunjukkan amplitudo gerakan yang terjadi per meter gelombang pada frekuensi tertentu.

Pada analisis ini, untuk grafik RAO dimulai dari frekuensi gelombang ( $\omega$ ) 1,5 rad/sec sebagai acuan. Periode gelombang signifikan diketahui sebesar 4,52 s dan didapatkan interval frekuensi gelombang berdasarkan data lingkungan sebesar 0,02636 rad/s. Sehingga RAO dengan frekuensi gelombang 1,5 rad/s dapat digunakan sebagai frekuensi gelombang awal untuk grafik RAO dari masing-masing gerakan.

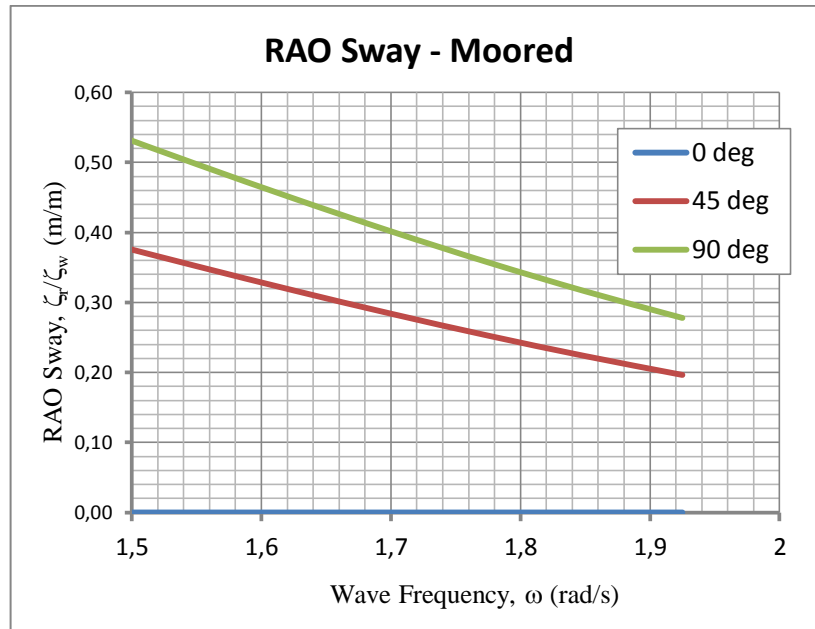
#### 4.5.1 *Response Amplitude Operator* (RAO) pada saat SPM dengan MT. Galunggung pada kondisi tertambat.

Grafik RAO tertambat pada SPM dengan sistem *offloading* SPM – MT. Galunggung yang dilakukan pada kedalaman laut 24 m. Berikut adalah grafik RAO dengan gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* dengan *heading angle* 0°, 45° dan 90°.

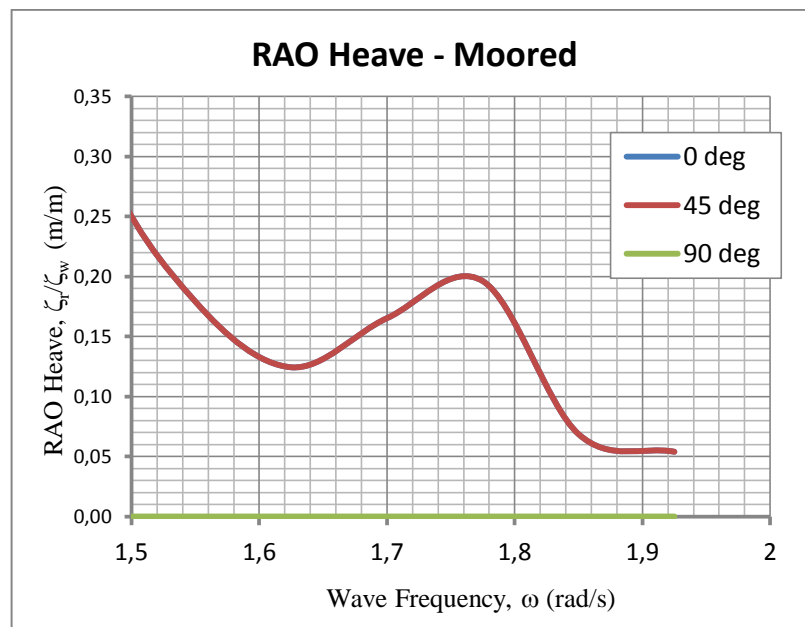


**Gambar 4.13** RAO tertambat gerakan *surge* pada saat SPM dengan MT.

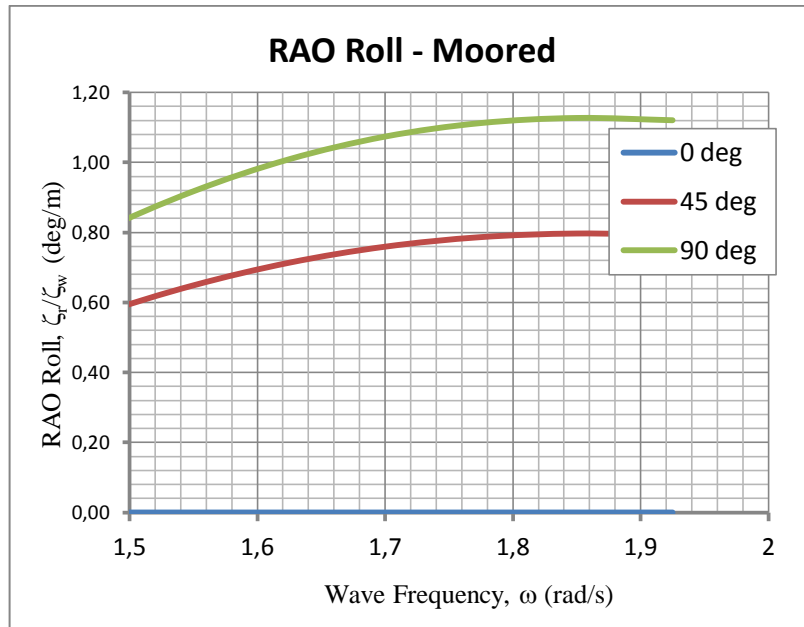
Galunggung



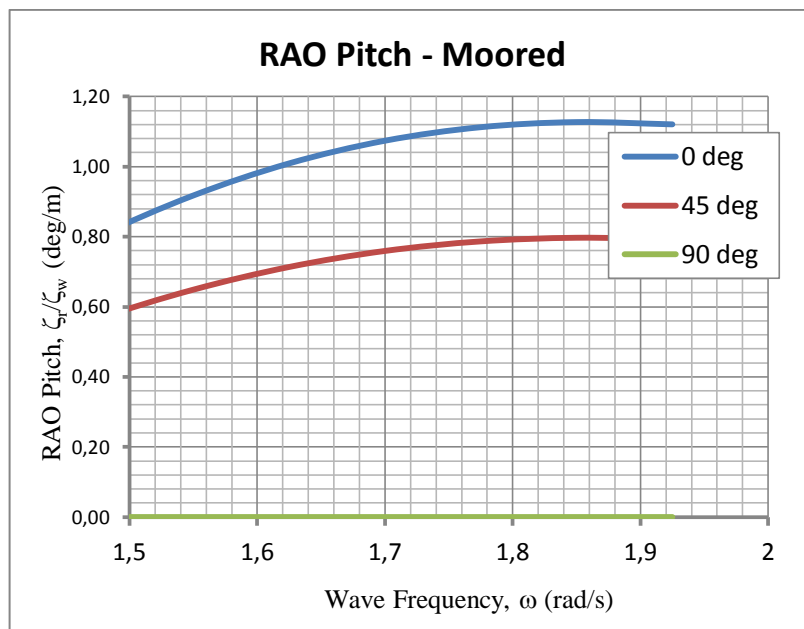
**Gambar 4.14** RAO tertambat gerakan *sway* pada saat SPM dengan MT.  
Galunggung



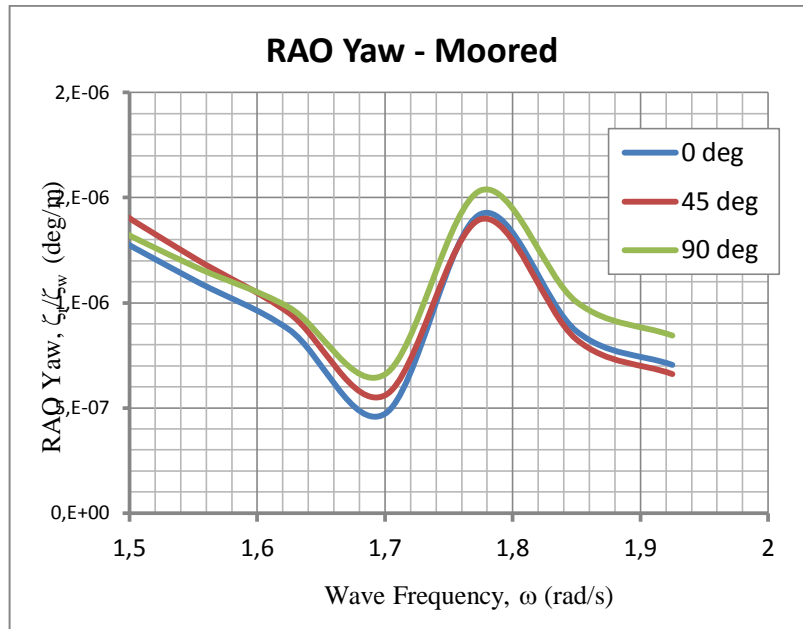
**Gambar 4.15** RAO tertambat gerakan *heave* pada saat SPM dengan MT.  
Galunggung



**Gambar 4.16** RAO tertambat gerakan *roll* pada saat SPM dengan MT.  
Galunggung



**Gambar 4.17** RAO tertambat gerakan *pitch* pada saat SPM dengan MT.  
Galunggung



**Gambar 4.18** RAO tertambat gerakan yaw pada saat SPM dengan MT.  
Galunggung

**Tabel 4.8** Nilai Amplitudo Tertinggi pada saat SPM Tertambat MT. Galunggung

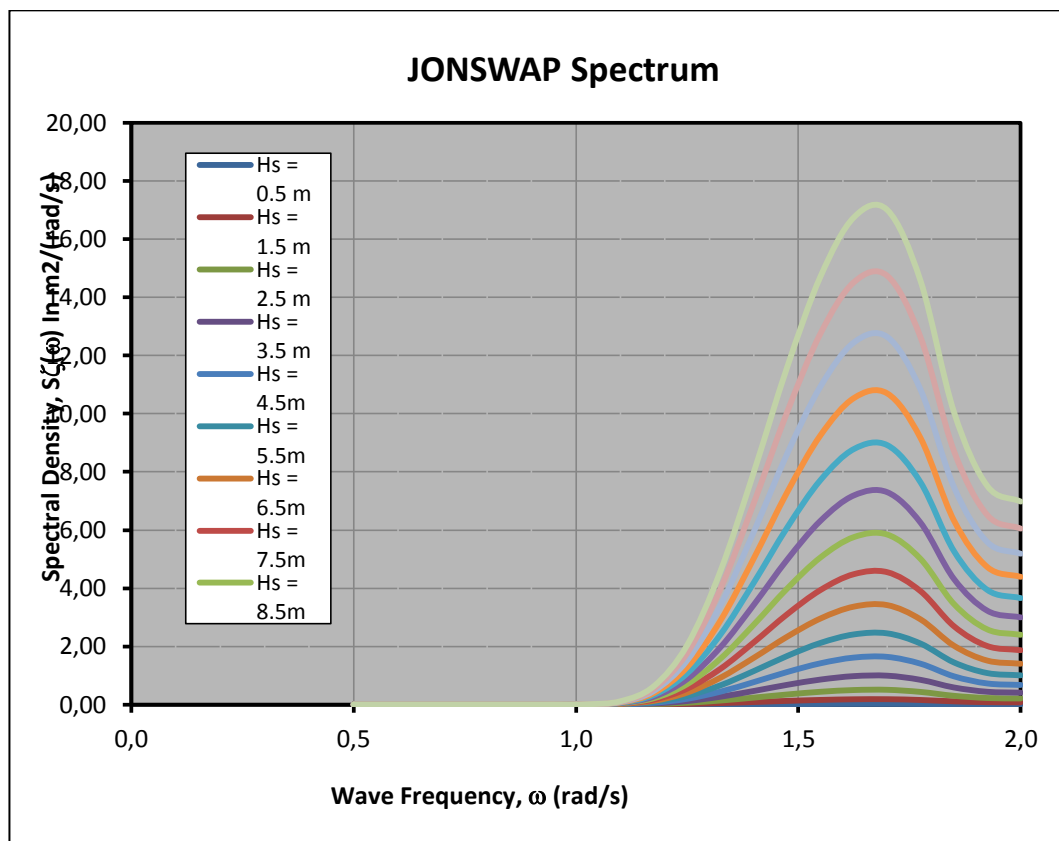
Heading (deg)	Berakan Translasional			Gerakan Rotasional		
	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
	(m/m)	(m/m)	(m/m)	(deg/m)	(deg/m)	(deg/m)
<b>SPM</b>						
0°	0,497572	1,89E-07	0,196148	1,66E-06	1,127071	1,42E-06
45°	0,351837	0,351837	0,196131	0,796959	0,796961	1,40E-06
90°	1,40E-07	0,497572	1,38E-07	1,127073	1,89E-06	1,53E-06

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.18 dapat disimpulkan pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa pada gerak osilasi translasional, amplitudo *surge* tertinggi sebesar 0,497572 m pada *heading* 0°, untuk amplitudo *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,497572 m dan untuk amplitudo *heave* tertinggi sebesar 0,196148 m pada *heading* 0°. Sedangkan pada gerak osilasi rotasional, amplitudo *roll* tertinggi sebesar 1,127073° pada *heading* 90°, amplitudo *pitch* tertinggi sebesar 1,127071° pada *heading* 0° dan amplitudo yaw tertinggi 1,53E-06° pada *heading* 90°.

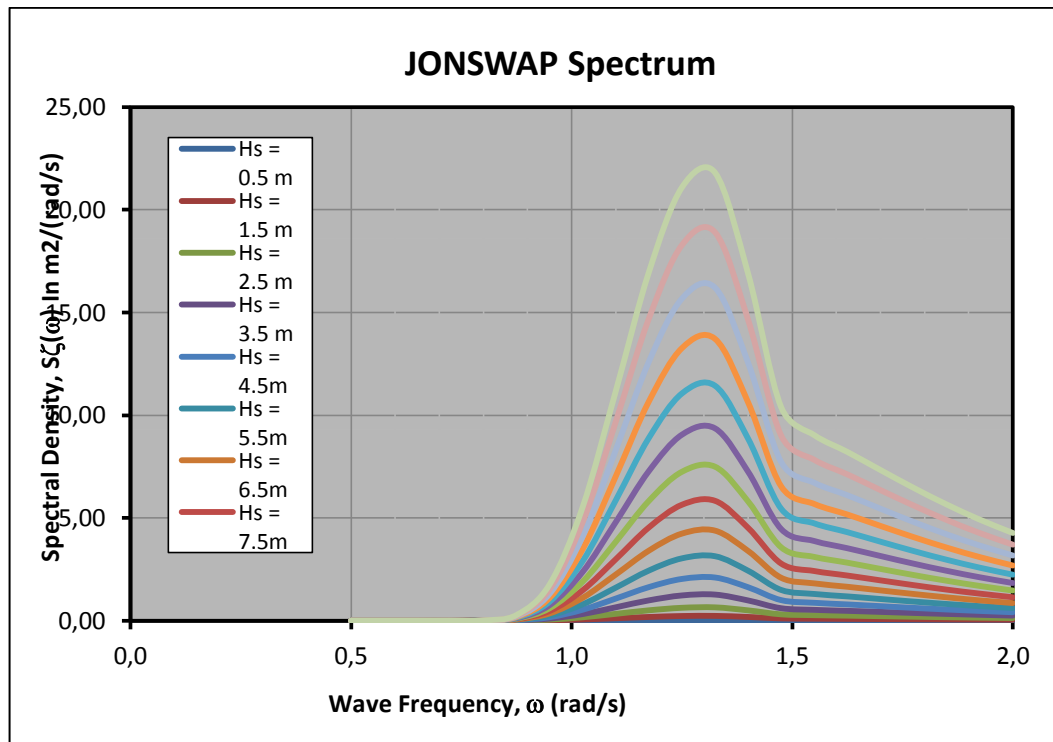
## 4.6 Analisa Respon Gerak Struktur Pada Gelombang Acak

### 4.6.1 Analisa Spektrum Gelombang

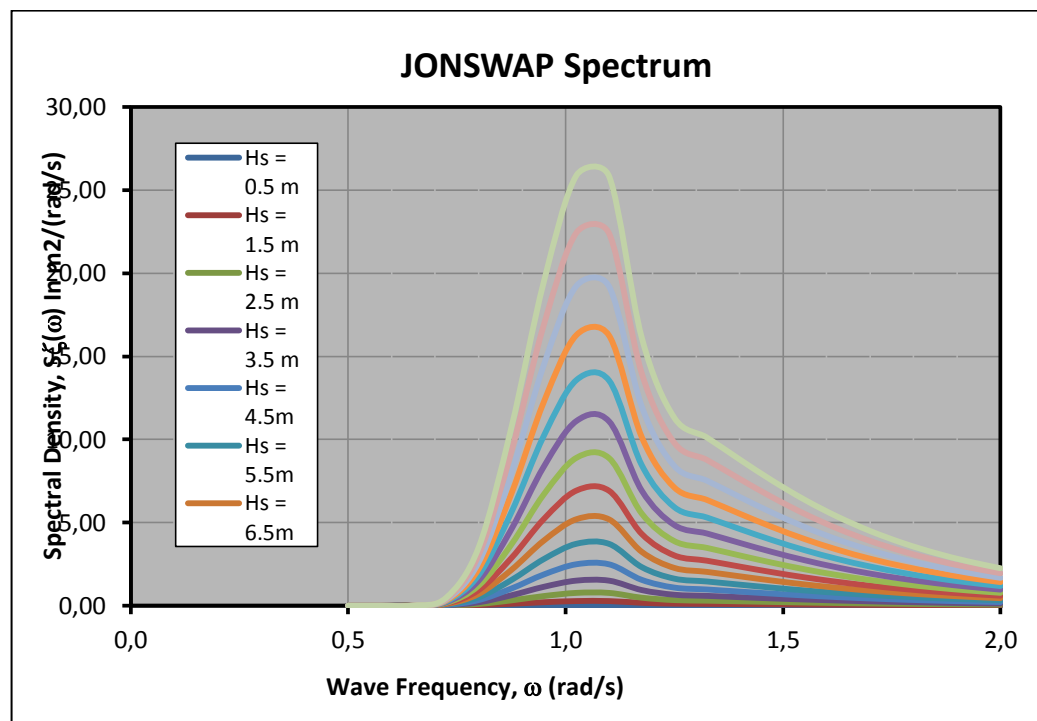
Dalam menentukan karakteristik perilaku gerakan struktur terapung pada gelombang acak atau irregular maka diperlukan spektrum gelombang untuk mewakili kondisi real struktur beroperasi. Pemilihan spektrum gelombang untuk analisis respon gerak struktur SPM 1134 pada gelombang acak (*irregular*) adalah berdasarkan kondisi real laut yang ditinjau. Dari beberapa jenis spektrum gelombang, yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektra Jonswap. Data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah dengan menggunakan data sebaran gelombang tak terbatas. Berikut adalah grafik spektrum gelombang pada Laut Jawa menurut perbandingan  $T_p$ :



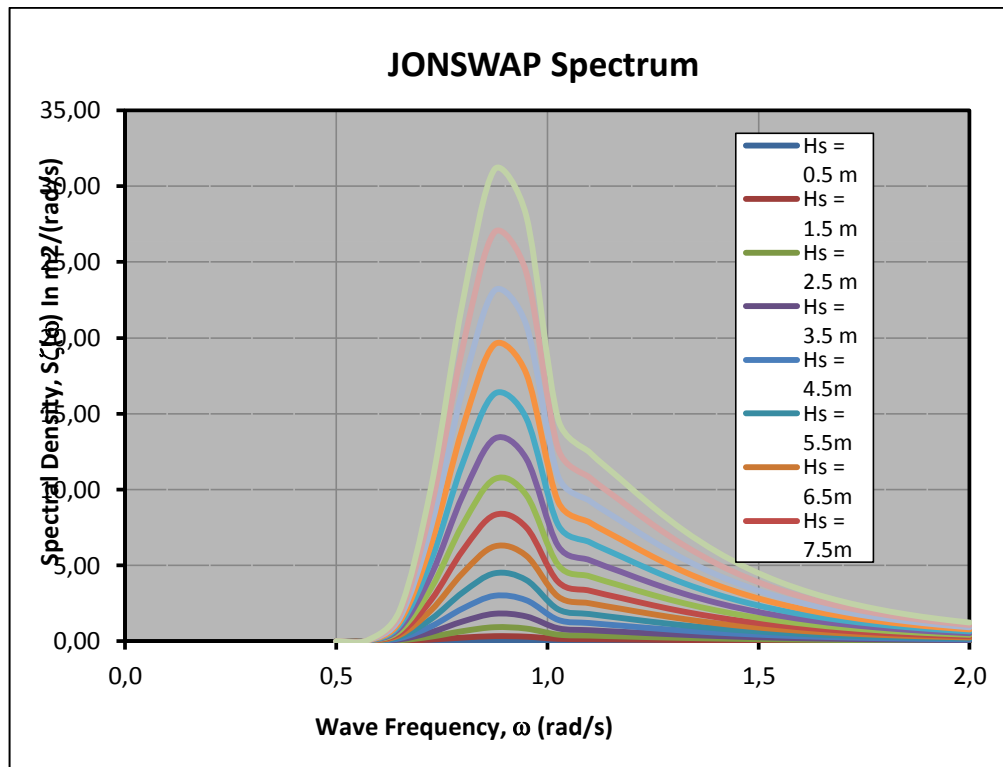
Gambar 4.19 Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi  $T_p$  3,5



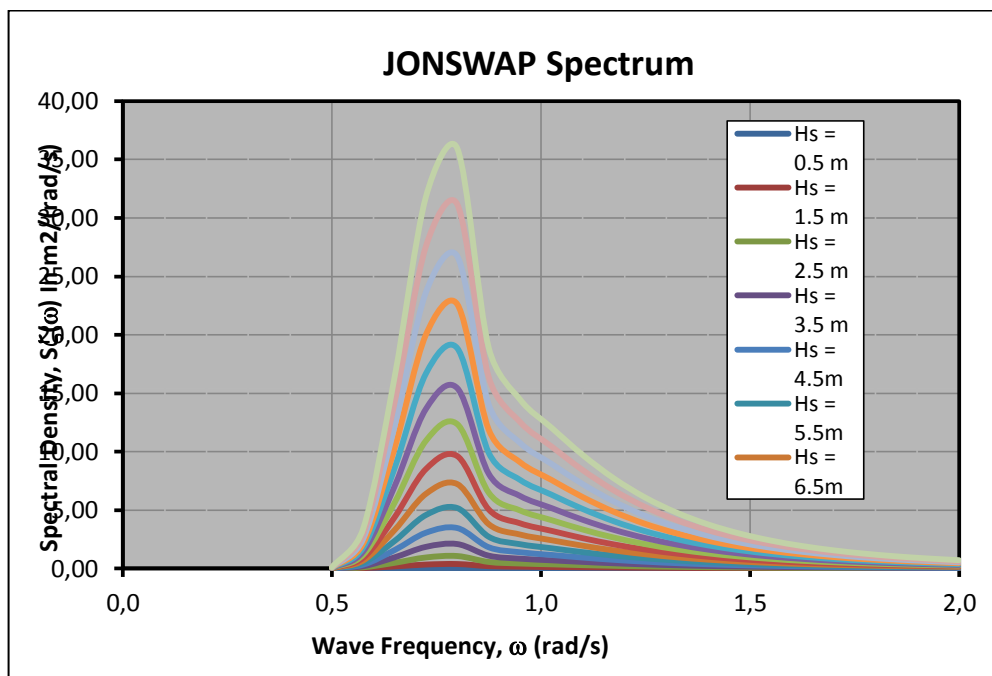
**Gambar 4.20** Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi  $T_p$  4,5



**Gambar 4.21** Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi  $T_p$  5,5



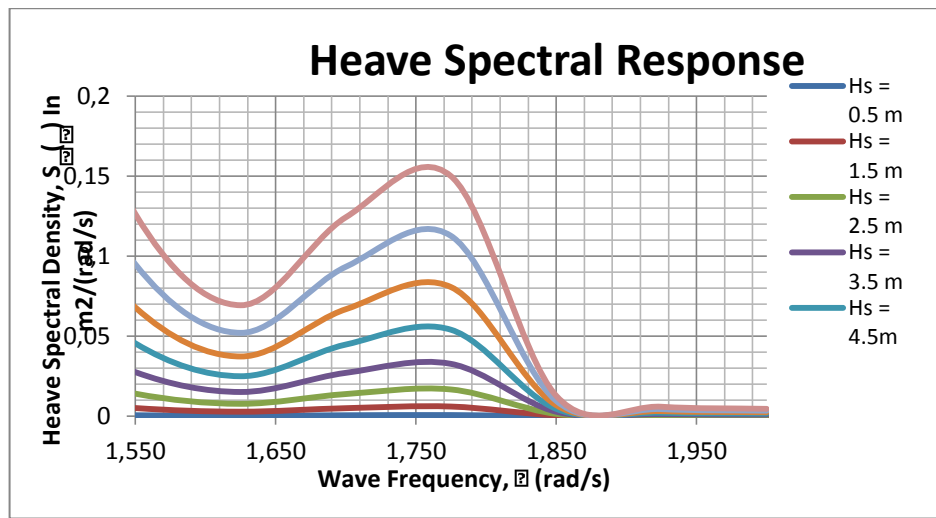
**Gambar 4.22** Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi  $T_p$  6,5



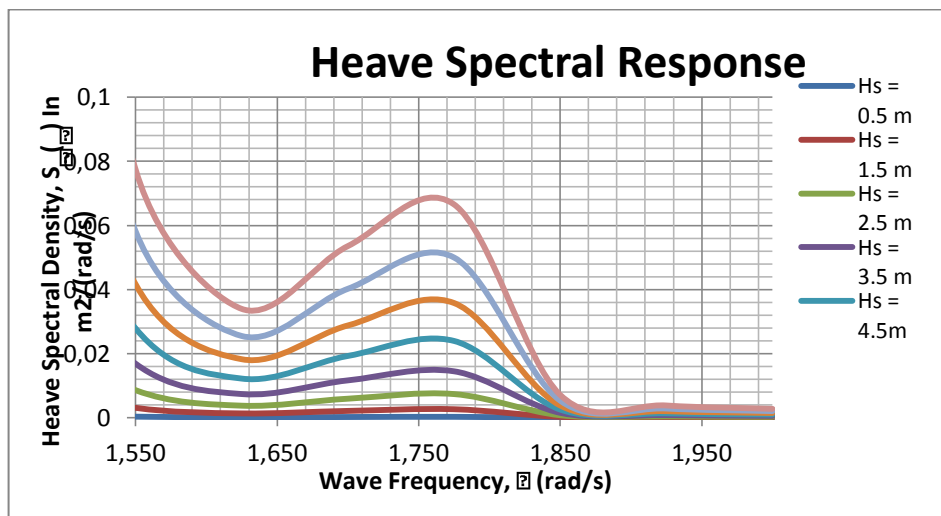
**Gambar 4.23** Grafik Spektrum Jonswap dengan variasi  $T_p$  7,5

#### 4.6.2 Analisa Spektra Respon

Nilai spektra respon didapatkan dengan cara mengkalikan harga spektra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO yang digunakan dalam analisis spektra ini adalah RAO pada arah pembebanan gelombang yang menghasilkan nilai natural dari gerakan bangunan apung, yaitu RAO *heave*, RAO *roll* dan RAO *pitch*. Analisis spektra respon dilakukan untuk gerakan-gerakan yang menjadi batasan pada kriteria operasi, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* dengan variasi  $T_p$ .

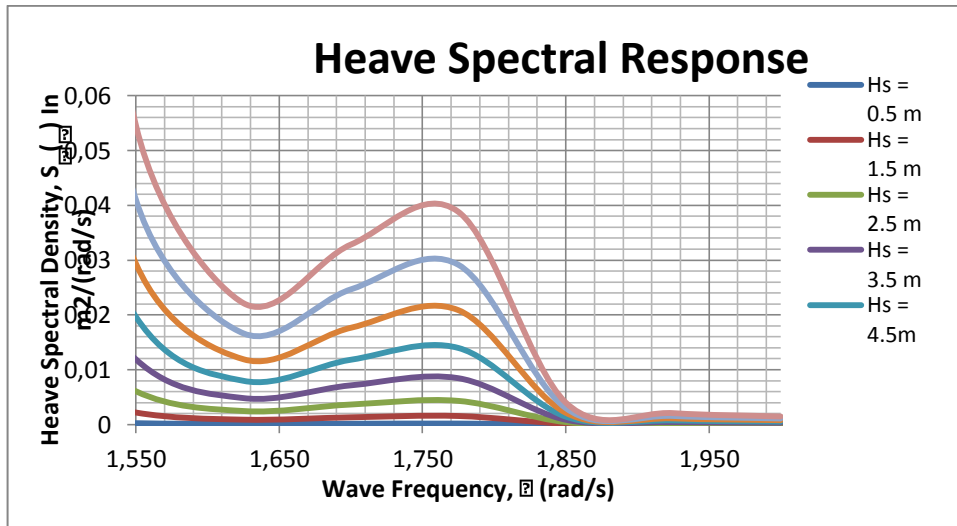


Gambar 4.24 Grafik Spektra respon *Heave* dengan variasi  $T_p$  3,5

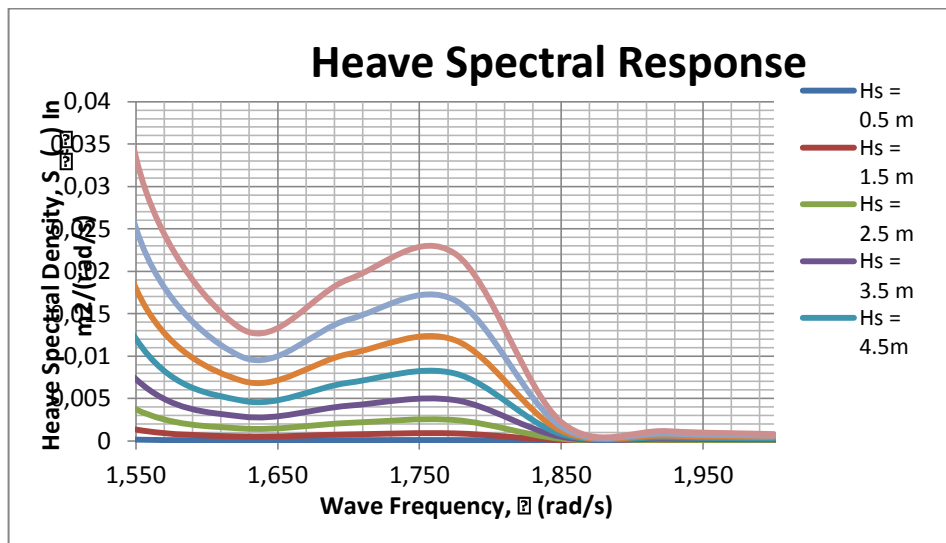


Gambar 4.25 Grafik Spektra respon *Heave* dengan variasi  $T_p$  4,5

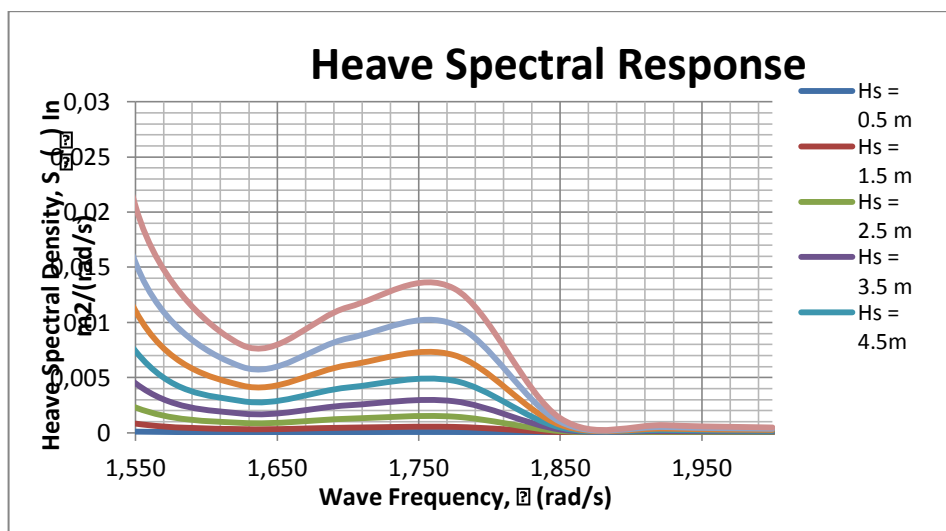




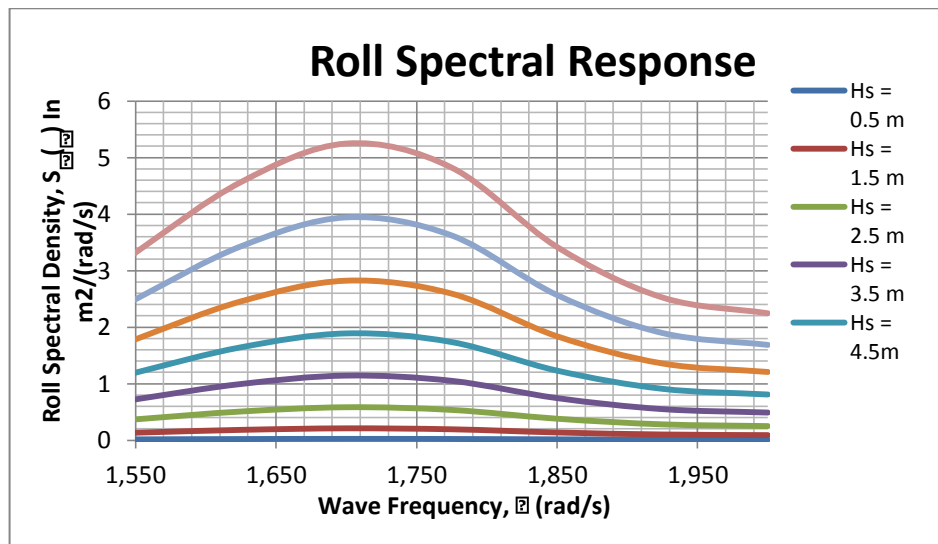
**Gambar 4.26** Grafik Spektra respon *Heave* dengan variasi  $T_p$  5,5



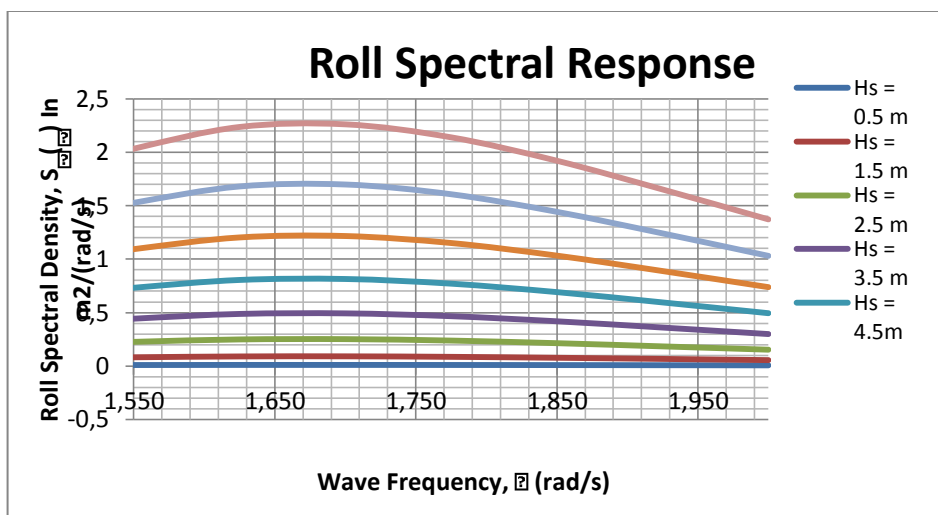
**Gambar 4.27** Grafik Spektra respon *Heave* dengan variasi  $T_p$  6,5



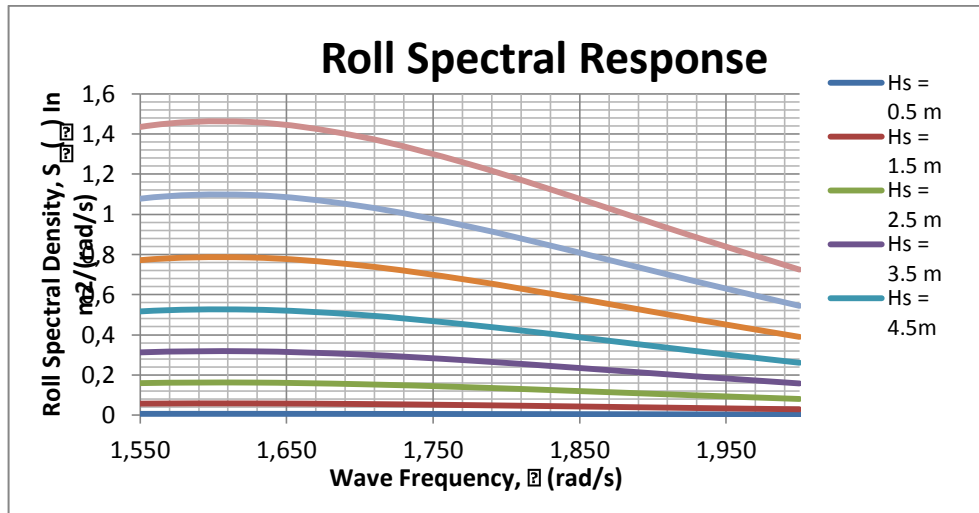
**Gambar 4.28** Grafik Spektra respon *Heave* dengan variasi  $T_p$  7,5



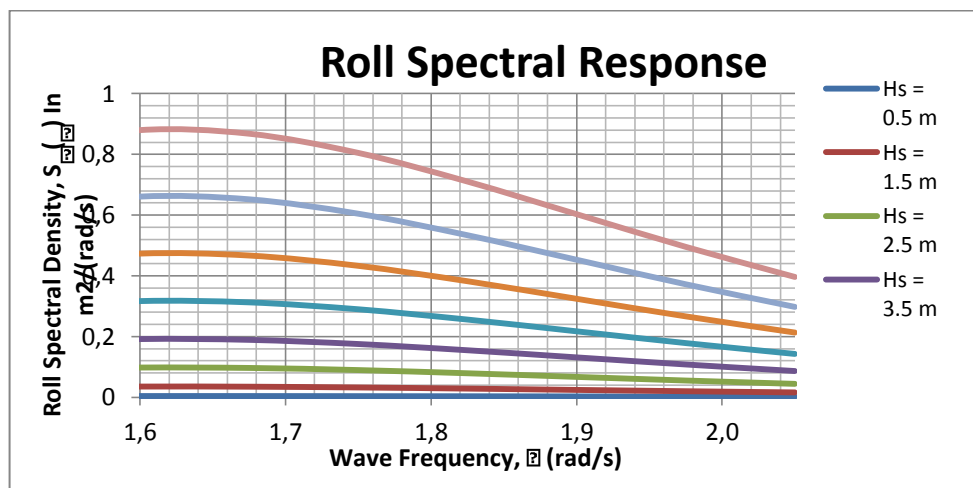
**Gambar 4.29** Grafik Spektra respon *Roll* dengan variasi  $T_p$  3,5



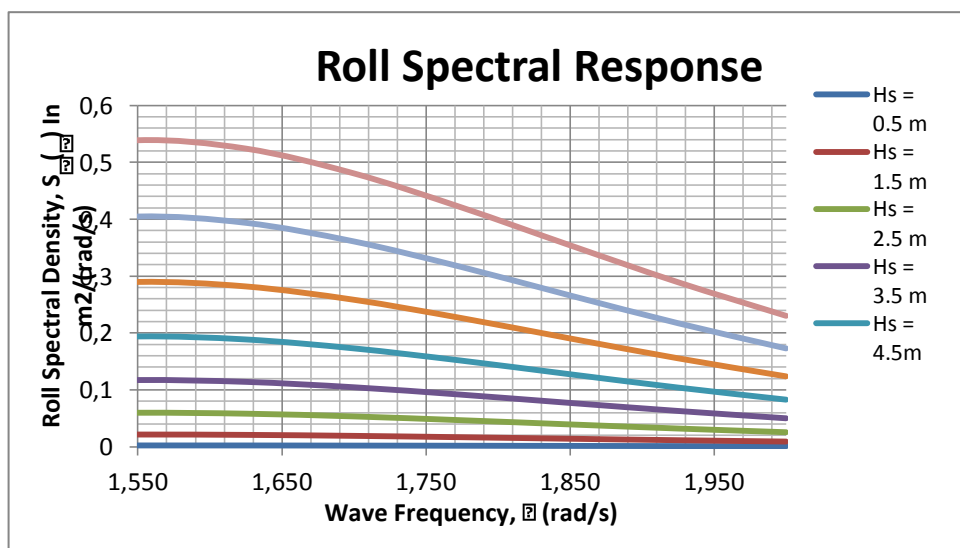
**Gambar 4.30** Grafik Spektra respon *Roll* dengan variasi  $T_p$  4,5



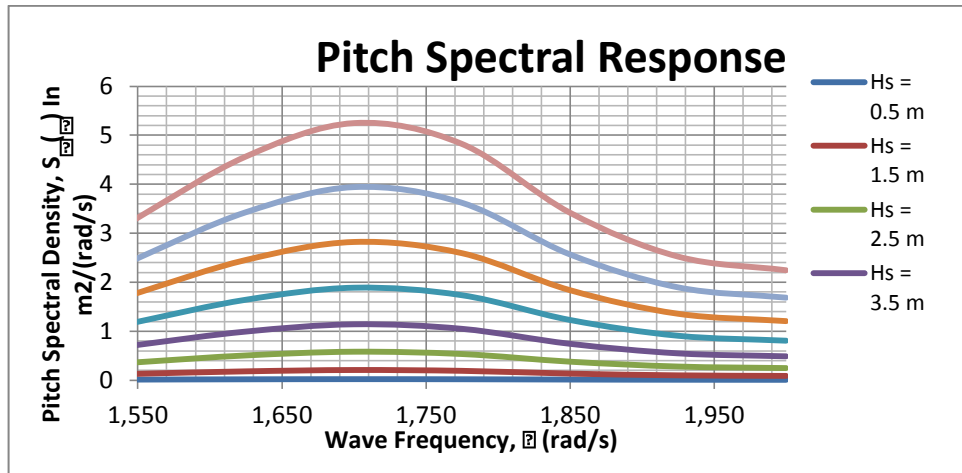
**Gambar 4.31** Grafik Spektra respon *Roll* dengan variasi  $T_p$  5,5



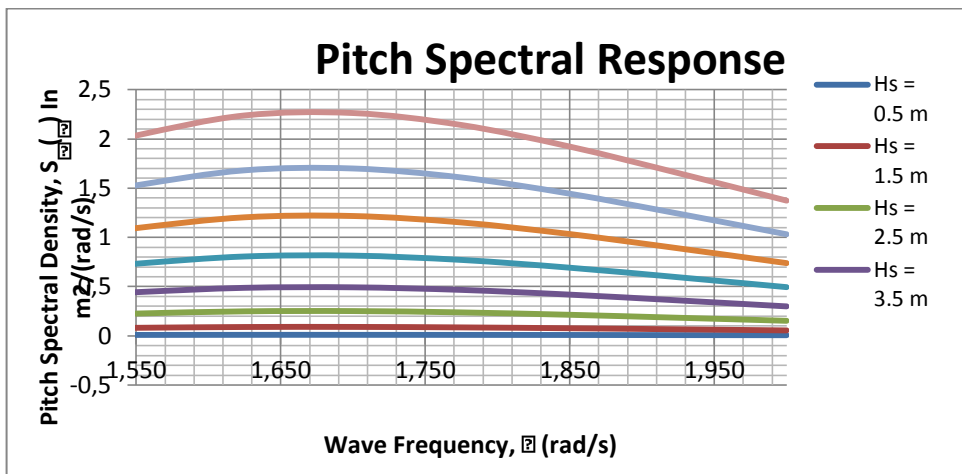
**Gambar 4.32** Grafik Spektra respon *Roll* dengan variasi  $T_p$  6,5



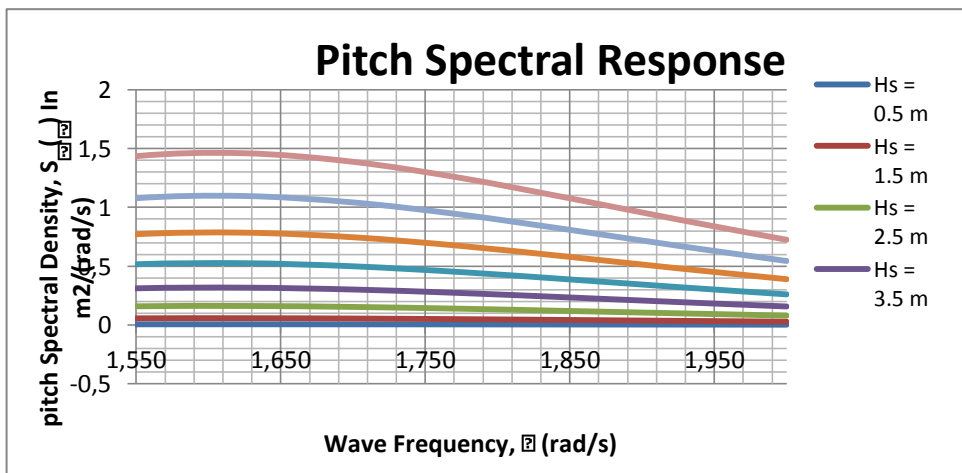
**Gambar 4.33** Grafik Spektra respon *Roll* dengan variasi  $T_p$  7,5



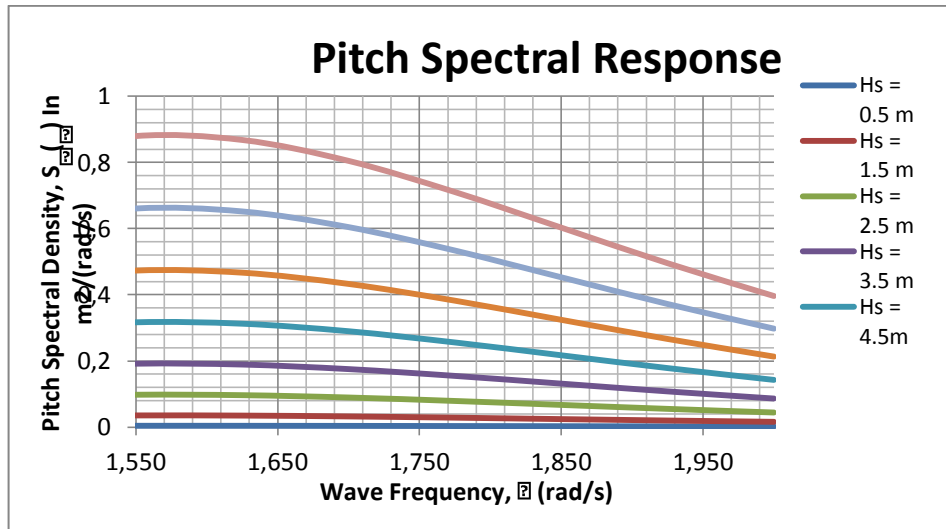
**Gambar 4.34** Grafik Spektra respon *Pitch* dengan variasi  $T_p$  3,5



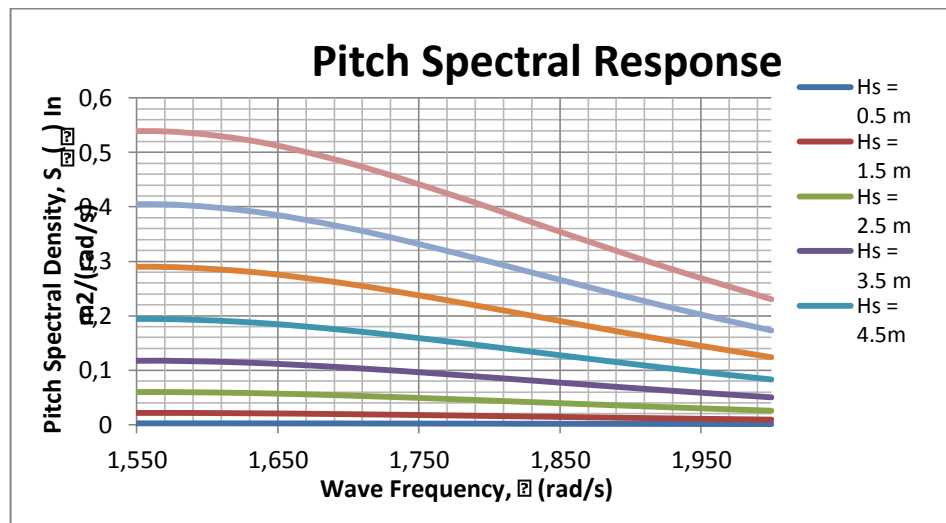
**Gambar 4.35** Grafik Spektra respon *Pitch* dengan variasi  $T_p$  4,5



**Gambar 4.36** Grafik Spektra respon *Pitch* dengan variasi  $T_p$  5,5



**Gambar 4.37** Grafik Spektra respon *Pitch* dengan variasi  $T_p$  6,5



**Gambar 4.38** Grafik Spektra respon *Pitch* dengan variasi  $T_p$  7,5

Berdasarkan dari grafik spektra respon gerakan struktur untuk gerakan *heave*, *pitch* dan *roll* dapat disimpulkan untuk nilai respon gerakan maksimum struktur SPM 1134 untuk setiap gerakan dengan menggunakan tabel dibawah ini:

**Tabel 4.9** Nilai Maksimum Spektra respon SPM 1134

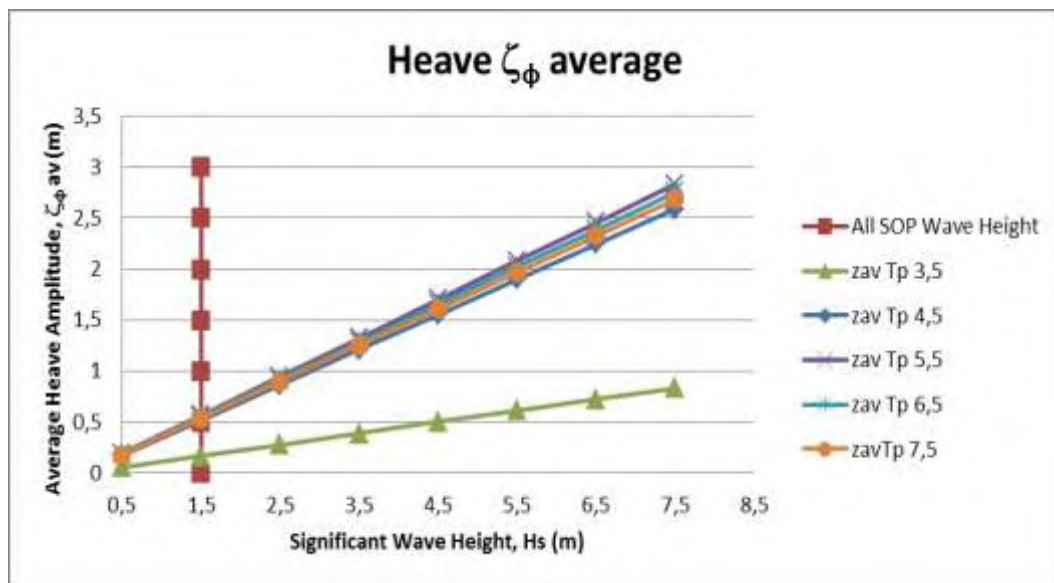
Moda Gerak	Satuan	Nilai Respon Gerakan	Frekuensi (rad/sec)	Hs (m)	$T_p$ (s)
Heave	$m^2/(rad/s)$	0,150	1,775	7,5	3,5
Roll	$deg^2/(rad/s)$	2,263	1,700	7,5	4,5
Pitch	$deg^2/(rad/s)$	5,248	1,700	7,5	3,5

Dari tabel yang disajikan diatas dapat disimpulkan bahwa respon gerakan terbesar translasional adalah moda gerakan *surge* sebesar  $0,975 \text{ in } m^2/(rad/s)$ .

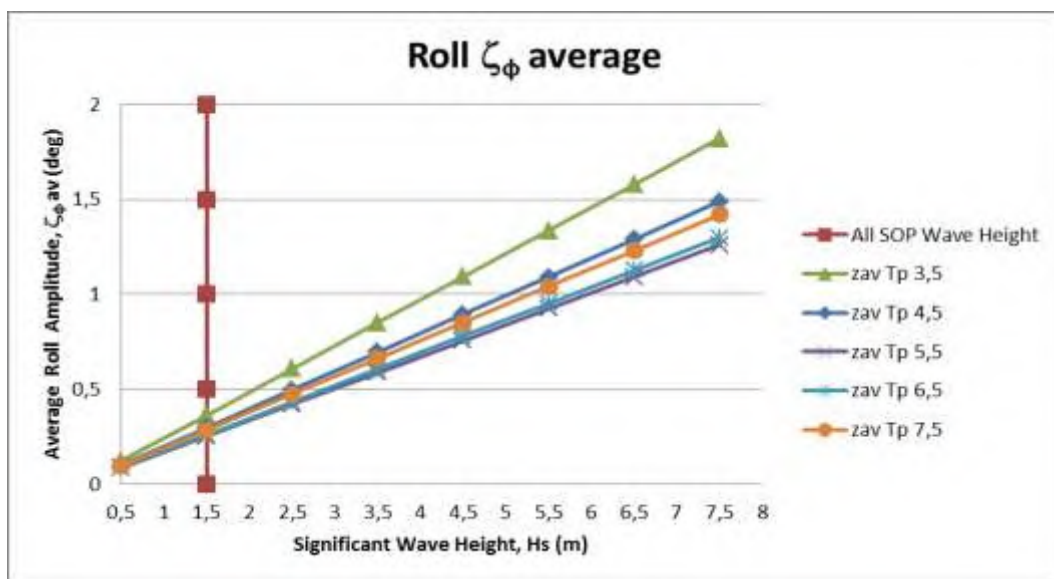
Sedangkan untuk respon gerakan rotasional terbesar adalah moda gerakan *pitch* sebesar 5,248 in  $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$ .

#### 4.7 Analisa Operabilitas Struktur SPM 1134 di Laut Jawa

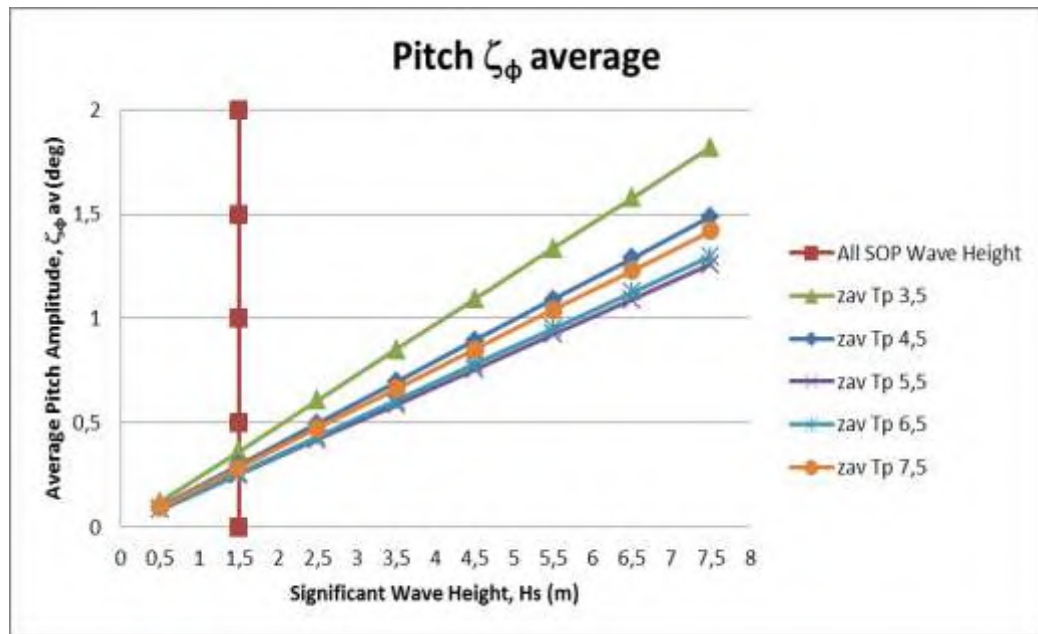
Berikut hasil analisa dari analisa kriteria *seakeeping* struktur SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd dengan menggunakan data sebaran gelombang tak terbatas dengan variasi  $H_s$  sebesar 0,5 m; 1,5 m; 2,5 m; 3,5 m; 4,5 m; 5,5 m; 6,5 m; 7,5 m serta batasan untuk standart operasi prosedur untuk perairan Laut Jawa.



**Gambar 4.39** Grafik Average Heave Amplitude di Tiap Kenaikan  $H_s$



**Gambar 4.40** Grafik Average Roll Amplitude di Tiap Kenaikan  $H_s$



**Gambar 4.41** Grafik *Average Pitch Amplitude* di Tiap Kenaikan  $H_s$

Dari hasil analisa *seakeeping* struktur SPM 1134 milik CNOOC SES Ltd yang telah ditampilkan pada gambar Gambar IV.41 sampai dengan Gambar IV.43 yang dapat diketahui besarnya rata rata kenikan amplitudnya tiap kenaikan  $H_s$ , terlihat bahwa ada beberapa nilai yang telah melewati batas kriteria yang dipengaruhi oleh variasi  $T_p$  yang disesuaikan oleh data sebaran gelombang.

#### 4.7.1 Operasi SPM 1134 di Laut Jawa

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dan data sebaran distribusi gelombang tak terbatas, dapat diketahui total durasi operabilitas struktur SPM 1134 yang ditinjau dari kumulatif peluang munculnya gelombang menurut kenaikan  $H_s$  hingga 7,5m.

- **Gelombang 100 Tahunan**

**Tabel 4.10** Tabel Sebaran Gelombang Laut Utara Jawa

Wave Heights (feet)	Wave Periods (s)									
	Mid (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0,0 - 1,9	0,3	20.022.500	10.011.750	27.693.750	29.253.750	8.451.750	8.321.000	10.011.750	16.252.750	130.019.000
2,0 - 3,9	0,9	4.646.600	2.322.800	6.426.500	6.788.800	1.960.500	1.931.100	2.322.800	3.770.900	30.170.000
4,0 - 5,9	1,5	1.027.000	513.500	1.420.500	1.500.400	433.500	426.800	513.500	833.600	6.668.800
6,0 - 7,9	2,1	227.000	113.500	313.920	331.700	95.820	94.340	113.500	184.220	1.474.000
8,0 - 9,9	2,7	50.160	25.080	69.390	73.300	21.170	20.850	25.080	40.730	325.760
10,0 - 11,9	3,3	11.094	5.547	15.339	16.203	4.682	4.602	5.547	8.996	72.010
12,0 - 13,9	3,9	2.412	1.206	3.336	3.526	1.034	1.019	1.423	1.958	15.914
14,0 - 15,9	4,5	562	281	779	821	299	239	150	457	3.588
16,0 - 17,9	5,1	129	64	177	200	53	50	0	104	777
18,0 - 19,9	5,7	31	16	44	43	12	0	0	26	172
20,0 - 21,9	6,3	9	3	13	7	0	0	0	6	38
22,0 - 21,9	6,9	2	2	2	0	0	0	0	3	9
24,0 - 25,9	7,5	1	1	0	0	0	0	0	0	2
TOTAL		25.987.500	12.993.750	35.943.750	37.968.750	10.968.820	10.800.000	12.993.750	21.093.750	168.750.070

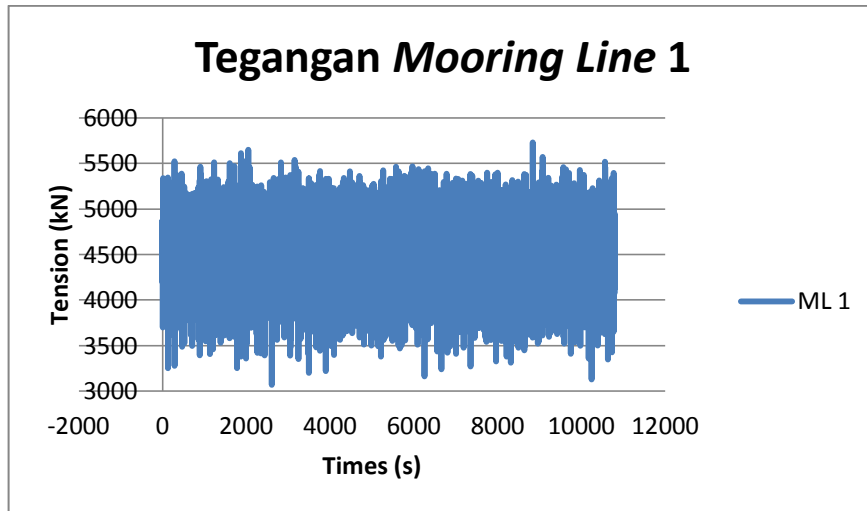
Jumlah warna kuning	165857500,00	<<<	Operasi
Jumlah warna merah	1892270,04	<<<	Down Time

$$\begin{aligned}
 \text{Operabilitas} &= \frac{\text{Jumlah Operasi}}{\text{Total Operasi}} \times 100\% \\
 &= \frac{165857500,00}{168750070,04} \times 100\% \\
 &= 98\%
 \end{aligned}$$

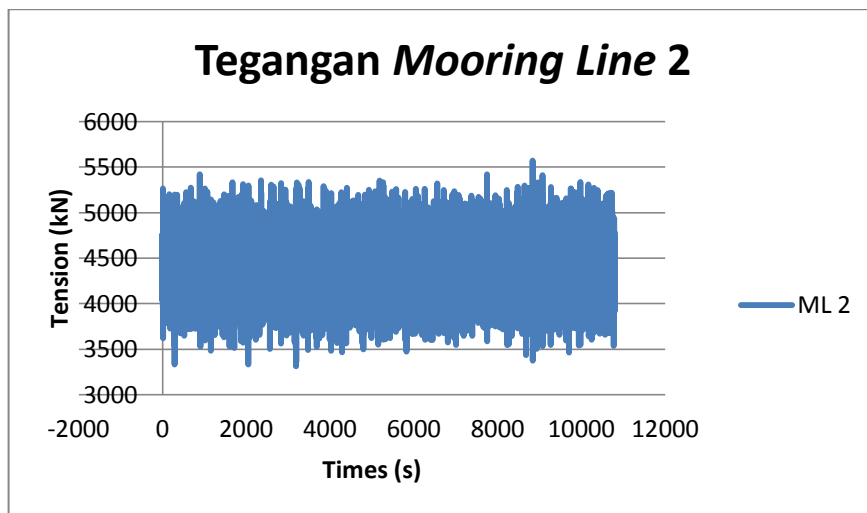
#### 4.8 Analisa Tegangan Pada *Mooring Line*

Pada analisa tegangan *mooring line* dipengaruhi oleh beban lingkungan dimana tempat SPM1134 CNOOC SES Ltd ini beroperasi. Konfigurasi *mooring line* yang digunakan pada SPM1134 CNOOC SES Ltd adalah *ungrouping*. Analisa tegangan pada *mooring line* ini dibantu dengan *software* ANSYS AQWA. Banyak *mooring line* pada sistem tambat berjumlah 6 *mooring lines*, dan 2 *hawser*s. Berikut adalah hasil analisa tegangan *mooring line* yang terjadi akibat pengaruh lingkungan dengan arah datang gelombang 180° (*head seas*).

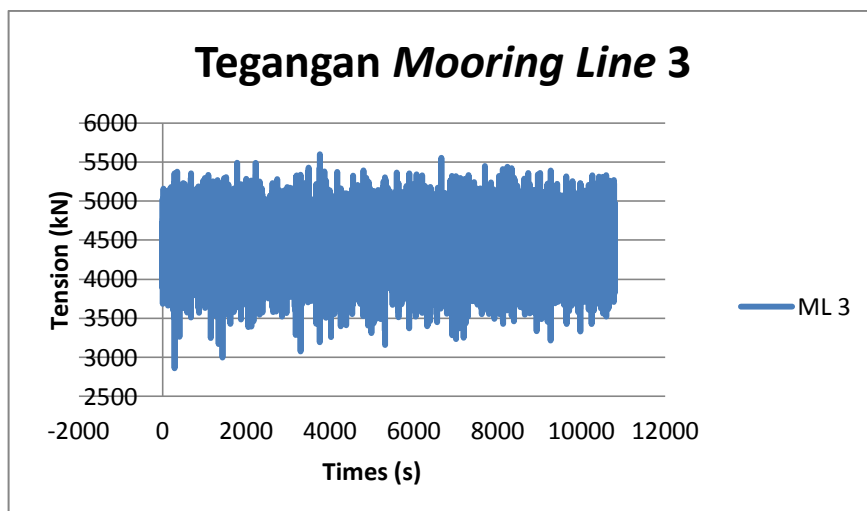




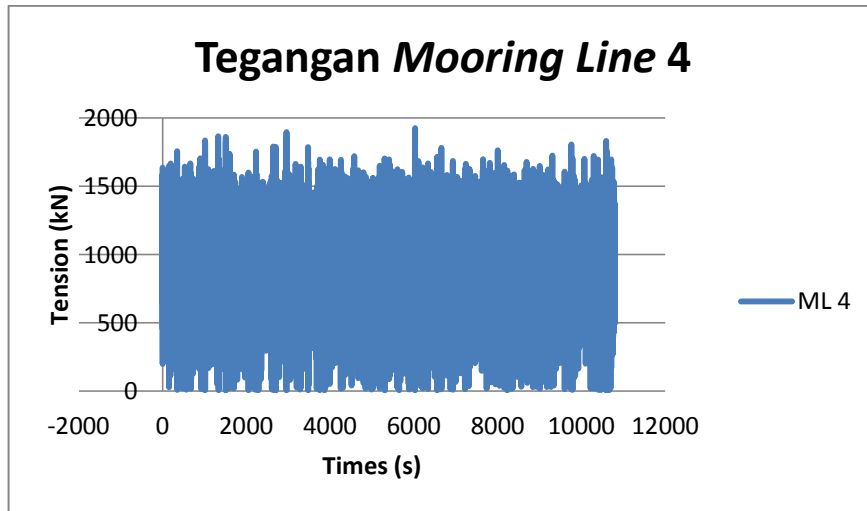
**Gambar 4.42** Grafik Tegangan *Mooring Line 1*



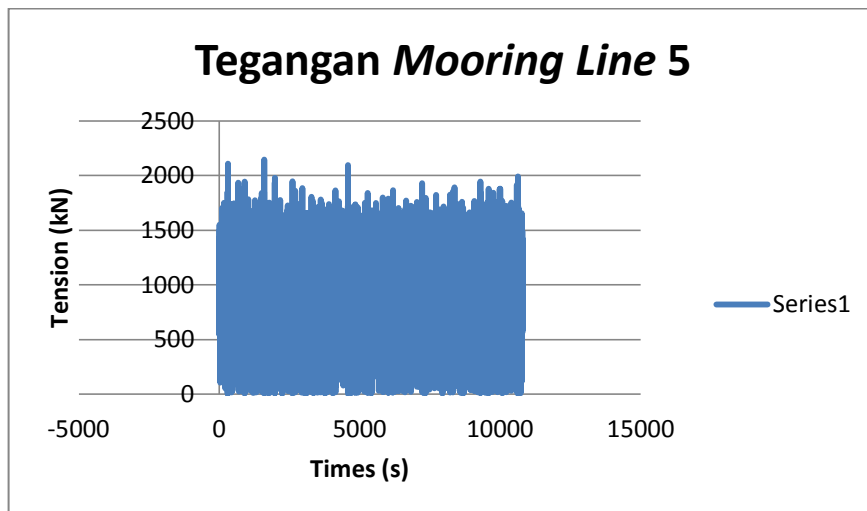
**Gambar 4.43** Grafik Tegangan *Mooring Line 2*



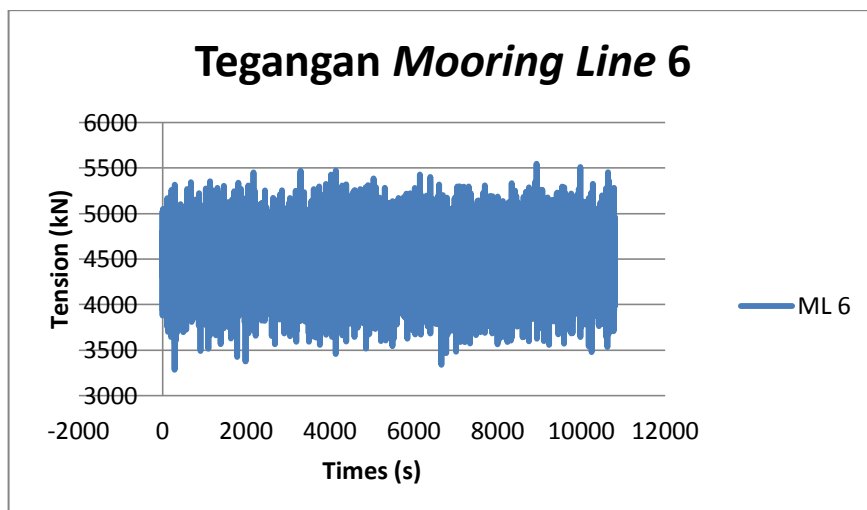
**Gambar 4.44** Grafik Tegangan *Mooring Line 3*



**Gambar 4.45** Grafik Tegangan *Mooring Line 4*



**Gambar 4.46** Grafik Tegangan *Mooring Line 5*



**Gambar 4.47** Grafik Tegangan *Mooring Line 6*

**Tabel 4.11** *Ungrouping Mooring Line Tension Kondisi Intact*

LINE	MAX (kN)	MEAN (kN)
1	5730,36	4496,78
2	5570,96	4411,73
3	5600,66	4444,94
4	1925,31	974,49
5	2146,44	1014,48
6	5546,70	4471,00

Pada kondisi *intact* dengan konfigurasi *ungrouping*, memiliki *tension* yang relatif besar yang berada pada posisi *mooring line* 1, 2, dan 3 yang cenderung menahan gerakan MT. Galunggung ketika mengikuti arah datang gelombang dari arah 180° (*head seas*). Pada kasus ini, gelombang yang datang dari arah 180° (*head seas*) akan mengalami tegangan yang besar karena berlawanan dengan arah gerak MT. Galunggung. Sedangkan *mooring line* yang berada pada posisi searah dengan arah gerak MT. Galunggung akan memiliki *tension* yang lebih kecil. Tegangan yang paling besar berada pada *mooring line* 1 sebesar 4496,78 kN.

#### 4.9 Analisa Keandalan dengan Metode MVFOSM

Pada analisa keandalan dengan menggunakan metode *Mean Value First Order Second Moment* (MVFOSM), hal yang perlu diperhatikan adalah besar dari *mean* dan *standard deviasi* yang sangat berpengaruh dalam mendapatkan keandalan *mooring line*. Dimana  $\Phi(\beta)$  dinotasikan dalam distribusi kumulatif dari distribusi normal. Berikut adalah rumus  $\Phi(\beta)$  dan keandalan:

$$K = 1 - \beta \quad (4.1)$$

$$\beta = \frac{\mu_{Sc} - \mu_T}{(\text{StdevSc}^2 + \text{StdevT}^2)^{1/2}} \quad (4.2)$$

Dimana:

$\mu$  = rata-rata (*mean value ataur first moment*)

$\sigma_{Sc}$  = simpangan baku dari rata-rata  $Sc$  (*standard deviation ataur second moment*)

$\sigma_T$  = simpangan baku dari rata-rata tegangan

Setelah perhitungan dilakukan, langkah selanjutnya adalah mencari keandalan dari masing-masing *mooring line*. Berikut adalah hasil dari perhitungan keandalan metode MVFOSM dari *mooring line* SPM 1134:

**Tabel 4.12** Keandalan *Mooring Lines (intact)* dengan Konfigurasi *Ungrouping*

LINE	MEAN T	STDEV T	SC	STDEV SC	$\mu_s$	$\sigma_s$	$-\beta$	PG	PG%	Keandalan%
1	550,5937	45,77888	665,3492	65,8221	114,7555	123,5497	-0,93	0,1762	18%	82%
2	540,1804	40,57103	665,3492	65,8221	125,1688	131,5798	-0,95	0,1685	17%	83%
3	544,2463	43,90222	665,3492	65,8221	121,1029	128,8151	-0,94	0,1736	17%	83%
4	119,3185	40,39067	665,3492	65,8221	546,0307	547,5226	-1,00	0,1587	16%	84%
5	124,2143	43,54867	665,3492	65,8221	541,1349	542,8844	-1,00	0,1587	16%	84%
6	547,4377	40,40024	665,3492	65,8221	117,9115	124,6407	-0,95	0,1685	17%	83%

Dari tabel diatas, didapatkan keandalan dari *mooring line* konfigurasi *ungrouping* yang paling rendah pada *mooring line* 1 sebesar 82%. Pada *mooring line* 1 memiliki tegangan paling besar dibandingkan dengan *mooring line* lainnya, oleh karena itu keandalannya kecil.

**Hasil output tegangan SPM 1134 kondisi tertambat pada MT.  
Galunggung menggunakan software ANSYS Aqwa**

<i>Time</i>	<i>Tension (kN)</i>					
	ML 1	ML 2	ML 3	ML 4	ML 5	ML 6
-10	4558,055	4487,644	4509,046	1029,389	1077,558	4544,774
-9	4558,243	4487,456	4508,943	1028,994	1077,949	4544,874
-8	4559,415	4486,202	4506,496	1013,873	1080,897	4547,237
-7	4580,072	4469,774	4516,481	1028,379	1118,579	4539,830
-6	4516,420	4491,708	4455,934	990,735	1084,918	4600,410
-5	4562,186	4462,183	4550,733	1132,042	906,349	4464,778
-4	4196,682	4763,337	4540,361	1287,174	768,412	4423,669
-3	4496,241	4526,737	4724,036	795,795	1351,649	4313,076
-2	4873,086	4136,946	4560,938	652,786	1305,177	4504,072
-1	4676,342	4226,119	4047,791	1058,516	957,550	4799,524
0	4865,480	4027,941	4288,887	702,673	1157,614	4610,473
1	4205,448	4734,272	3882,299	1323,130	923,713	5024,728
2	4262,551	4688,328	5026,197	1585,821	545,634	3878,798
3	4223,036	4618,235	4872,309	798,626	1306,472	4042,737
4	4674,121	4215,765	4365,667	198,050	1340,816	4530,485
5	4803,223	4403,851	4460,874	1636,118	917,758	4716,082
6	4649,089	4348,786	4683,136	1024,730	549,927	4371,008
7	3698,185	4658,186	3682,738	451,179	1072,196	4732,123
8	4193,252	4193,032	4297,395	1065,022	860,925	3933,492
9	4881,603	3952,743	4778,144	1230,904	1430,449	4219,828
10	4855,801	4230,290	4322,341	996,307	831,469	4750,956
11	3801,015	5264,670	4811,013	1251,192	556,236	4281,555
12	4295,962	4827,424	4018,143	763,063	1238,194	5050,469
13	4723,248	4143,602	4898,415	1152,984	833,486	4179,298
14	4273,039	4644,563	4237,464	722,022	1550,432	4674,011
15	5338,460	3619,620	4815,164	1230,860	1177,833	4128,455
16	3984,359	4801,476	3795,238	677,401	584,763	5032,444
17	4471,658	4268,135	4419,531	1022,905	790,402	4201,162
18	4377,999	4702,547	4624,531	1405,044	1334,190	4479,565
19	4957,229	4146,369	5020,301	735,360	1013,095	4075,842
20	4031,888	5045,920	4328,562	1253,974	751,401	4950,671
21	4377,165	4616,793	4153,064	853,687	1180,675	4703,817
22	4862,415	3861,509	4413,923	281,537	1508,245	4414,497
23	4070,505	4611,646	3816,314	1425,789	725,133	4837,161
24	4986,298	4043,219	5159,960	1116,489	1145,588	3924,899
25	4389,475	4798,439	4765,466	1305,254	1050,944	4445,141

26	4585,345	4436,491	4399,516	226,920	1250,926	4643,373
27	4240,519	4180,492	3728,178	579,041	833,889	4799,326
28	4388,432	4276,835	4005,431	1219,956	1067,489	4634,901
29	4629,107	4097,298	4791,559	1363,734	871,702	3993,471
30	3962,864	4925,958	4267,527	1098,090	1386,696	4479,940
31	4541,116	4538,352	4503,580	530,522	1177,504	4718,436
32	5023,024	4126,213	5003,043	1249,163	724,632	4164,353
33	4657,421	4261,582	4360,164	458,607	1121,282	4430,020
34	3774,729	4098,704	3711,727	907,896	677,855	4472,858
35	3972,751	4331,136	4005,346	1166,992	997,947	4085,497
36	4349,297	4147,253	4430,129	969,937	1362,876	4217,046
37	4749,223	4552,518	4618,069	1202,546	788,390	4630,961
38	4941,180	4442,589	4817,923	873,407	1386,549	4589,973
39	4084,369	4687,087	4565,465	1246,866	104,877	4299,410
40	4338,644	4293,233	4223,136	513,882	1490,693	4232,007
41	4599,964	4532,895	4424,942	1261,874	1097,042	4648,548
42	4340,332	4297,219	4097,128	805,196	1269,431	4787,671
43	5054,491	4143,201	4658,433	1102,370	1032,600	4505,453
44	4762,874	4433,154	4915,472	1221,975	593,523	4306,240
45	3907,121	5105,060	4365,539	1095,153	856,100	4642,663
46	4442,425	4414,031	4633,172	648,105	1292,732	4203,531
47	4871,174	4185,201	4090,512	980,573	1144,285	4641,698
48	4503,243	4492,532	4363,166	1147,437	1257,127	4931,931
49	5090,914	3969,005	4676,629	892,241	723,979	4365,459
50	4031,020	4952,927	4195,774	1279,855	609,698	4790,478
51	4893,328	4111,908	5102,879	609,147	1480,645	3895,578
52	4175,655	4888,673	4013,711	978,030	1085,548	5051,071
53	4979,183	3975,527	4885,052	1298,599	735,541	4079,120
54	3888,759	5057,534	3953,159	916,003	960,970	4973,708
55	4478,470	4544,182	4593,837	1011,357	1285,463	4425,805
56	4929,378	4103,446	5012,099	962,239	1073,159	4018,894
57	4378,007	4582,749	4048,398	788,780	1248,948	4934,279
58	4992,034	3965,070	4651,572	1178,903	573,422	4284,684
59	4019,851	4691,325	4086,264	885,282	794,245	4619,286
60	4626,467	4318,867	4811,127	1132,143	1332,165	4157,111
61	4222,994	4837,056	4333,092	1282,697	965,164	4740,963
62	4690,029	4383,983	4571,599	747,907	1120,489	4503,537
63	4805,016	4255,366	4616,879	997,889	986,914	4459,466
64	4757,975	4100,413	4341,690	820,449	1215,953	4519,619
65	4386,184	4416,573	4127,431	1157,122	1070,089	4681,679
66	4087,251	4767,004	4347,523	1269,743	695,830	4480,785

67	4275,679	4706,946	4730,226	1122,071	1198,006	4244,912
68	4998,188	4077,310	4935,860	480,391	1441,372	4157,445
69	4675,402	4357,750	4454,629	1337,254	821,251	4558,375
70	4020,438	4630,857	4004,614	1011,202	501,207	4612,877
71	4287,340	4522,358	4192,898	728,893	1465,106	4674,757
72	4912,087	4216,784	4663,972	1119,493	1253,159	4449,681
73	4777,307	4324,991	4364,016	846,146	1002,539	4655,811
74	4479,902	4555,156	4554,865	1180,831	622,893	4482,151
75	4813,161	4202,656	4842,122	800,910	1155,090	4185,214
76	3893,730	4960,438	4256,859	1314,350	752,270	4616,324
77	4638,162	4285,028	4695,047	829,960	1403,844	4189,610
78	4806,432	4158,398	4168,361	506,613	1540,576	4888,348
79	4557,744	4100,856	3926,487	1290,388	606,605	4658,497
80	4363,987	4140,034	4489,265	959,285	239,309	4145,947
81	4467,587	4523,833	4296,189	852,893	1521,954	4543,204
82	4271,475	4679,168	4415,581	1231,233	868,837	4664,426
83	4732,006	4305,026	4713,081	930,234	1000,509	4335,456
84	4537,683	4576,367	4502,550	958,075	931,956	4614,135
85	4508,586	3925,872	4380,469	590,280	863,061	4088,677
86	3991,460	4216,288	3921,527	1183,504	1006,566	4335,687
87	4229,142	4520,459	4143,225	920,375	1195,327	4596,056
88	4469,038	4318,584	4403,265	1221,410	1134,414	4427,340
89	4806,480	4656,291	4908,056	1028,864	919,513	4707,014
90	5009,126	4217,194	4693,369	665,741	1068,408	4339,306
91	4384,749	4521,544	4343,182	1198,402	698,261	4547,238
92	4237,856	4287,171	4516,943	894,511	1035,137	4194,225
93	4007,670	4351,724	3991,990	787,431	1295,491	4363,813
94	4423,023	4309,418	4143,428	1085,767	961,176	4604,089
95	4640,157	4519,529	4501,213	1266,528	1308,859	4729,904
96	4930,015	4156,593	4818,050	434,095	784,982	4313,267
97	4733,401	4215,079	4318,424	739,850	1305,971	4545,649
98	4158,498	4450,055	4447,098	1294,972	455,759	4285,204
99	3855,080	4593,885	4044,179	820,096	1243,995	4396,431
100	4377,943	4196,081	4499,166	1052,640	1004,307	4078,075
101	4468,949	4347,821	4254,208	870,361	1267,739	4622,777
102	4882,856	4201,028	4559,790	1112,188	1085,539	4533,290
103	4350,639	4666,928	4212,583	958,499	781,307	4816,078
104	4855,842	4060,718	4546,885	604,967	1448,465	4514,768
105	4579,238	4299,835	4423,422	1255,898	918,297	4063,458
106	4078,964	4665,715	4830,596	1604,232	260,760	4458,970
107	3783,746	4439,954	4614,159	907,289	804,980	3760,273

108	4155,263	4668,952	4087,328	250,067	1466,558	4487,711
109	5297,885	3808,853	4582,102	983,416	1705,076	4414,062
110	4667,865	4487,443	3962,297	1303,558	965,090	5096,762
111	4107,378	4710,405	4221,630	983,013	116,359	4618,271
112	4361,790	4570,332	4952,399	1317,805	747,758	3930,072
113	4673,776	4677,043	5131,301	989,812	1349,457	4140,262
114	4437,468	4362,644	4545,934	592,000	1202,526	4493,651
115	4869,414	4092,491	4231,040	1170,284	1319,508	4769,123
116	4479,726	4555,030	3906,422	770,207	994,756	5169,194
117	4908,696	4129,305	4725,661	1005,304	1090,165	4450,241
118	4044,486	4914,796	4533,060	1495,650	741,371	3887,289
119	4529,512	4379,845	5130,296	1129,925	1008,924	4503,998
120	4132,653	4787,982	4425,696	309,530	1345,119	3790,674
121	4552,590	4425,072	3871,303	732,757	1247,184	5102,942
122	5272,109	3784,698	4992,120	1515,208	677,411	4073,121
123	4057,907	4689,248	4249,469	966,007	578,341	4557,123
124	4187,295	4255,894	4376,786	573,927	1122,084	4092,824
125	3956,264	4756,872	4129,290	1339,519	1041,509	4634,525
126	4673,777	4334,840	4533,525	898,116	1352,911	4515,962
127	5207,031	3988,541	4371,699	764,961	1209,815	4796,564
128	4601,756	4349,427	5062,689	1124,419	872,043	4355,452
129	5345,198	3788,416	4565,233	759,416	549,820	4031,840
130	3250,571	4966,620	3660,794	1012,554	208,673	4596,914
131	4408,230	3834,542	4529,354	889,842	1296,677	3699,719
132	3991,362	4585,849	3939,990	1146,260	1051,621	4655,836
133	5210,639	3971,943	4913,812	985,279	1376,509	4216,903
134	4715,612	4836,898	4205,248	862,922	1186,600	5152,264
135	4499,134	4480,107	4469,768	943,568	611,099	4679,082
136	4708,894	4224,662	4585,350	799,343	832,399	4351,691
137	4195,209	4391,554	4333,580	1123,295	1010,537	4254,910
138	4070,041	4338,923	4225,949	915,011	978,203	4183,961
139	4230,223	4477,205	4319,416	1148,537	1041,642	4398,551
140	4601,485	4573,111	4627,949	1244,280	1142,399	4551,614
141	4732,057	4410,689	4717,461	794,508	940,547	4461,590
142	4791,752	4179,795	4411,948	587,173	1240,141	4653,173
143	4749,519	4454,157	4482,978	1169,302	943,173	4483,048
144	4011,602	4176,545	3801,064	692,353	1123,079	4725,518
145	4402,056	4501,727	4441,227	1266,594	889,421	4236,631
146	4680,455	4120,930	4805,709	1060,314	1138,493	4027,359
147	4075,556	4769,732	4522,571	1129,953	619,379	4296,874
148	4266,635	4691,908	4610,423	1037,630	1278,316	4360,280



149	4657,678	4323,911	4446,469	647,547	1177,946	4518,443
150	4972,633	3984,347	3980,404	495,296	1636,674	5029,990
151	4812,061	3796,892	3817,649	1043,594	792,615	4696,018
152	4348,720	4028,733	4337,373	958,293	134,577	4154,925
153	4014,408	4605,595	4172,744	1184,524	902,406	4331,858
154	4184,649	4843,081	4986,140	1646,816	1073,957	3953,295
155	4366,418	4748,828	4468,478	338,108	1604,099	4659,479
156	5021,565	4040,108	4238,790	27,585	1339,089	4821,361
157	4576,339	4438,809	4636,027	1409,266	500,225	4139,234
158	4645,261	4125,510	4244,409	870,949	884,029	4804,532
159	3737,723	4803,771	4667,094	1139,898	599,561	4003,459
160	4089,540	4551,775	4257,001	994,621	1163,849	4553,815
161	4733,142	4197,748	4617,256	734,939	1526,273	4104,156
162	5053,895	4394,609	4225,819	1294,032	1098,823	4920,121
163	4768,880	4040,516	4702,580	900,476	581,288	4357,469
164	3936,018	5201,771	4144,212	1218,457	816,014	4978,978
165	4514,228	4355,612	4617,116	551,832	1270,363	4229,731
166	4233,673	4090,852	4273,007	897,350	693,015	4024,890
167	4766,293	4378,858	4485,777	1174,250	1580,922	4373,240
168	5029,431	4061,071	4669,936	1019,952	1097,326	4658,960
169	3927,495	5040,771	4195,650	1295,494	243,058	4887,671
170	4408,442	4521,901	4785,995	694,511	1195,027	4217,386
171	4913,439	4175,663	4546,183	487,193	1750,570	4576,591
172	4522,552	4508,801	4188,605	1375,230	756,529	4864,642
173	4683,015	4028,462	4737,976	987,778	411,754	3919,331
174	3813,915	4816,247	3969,816	747,833	1289,838	4653,884
175	4524,959	4375,968	4762,148	1194,226	1084,733	4189,678
176	4866,844	4133,387	4186,313	761,447	1278,042	4771,100
177	4546,853	4407,267	4689,784	1041,941	864,829	4297,597
178	5025,406	3958,353	3854,235	741,218	1123,465	4699,189
179	4098,992	4914,855	4253,169	1389,727	975,454	5130,410
180	4883,844	4173,406	5160,594	1167,052	1020,190	3898,756
181	3999,485	4963,573	4459,213	1040,547	890,275	4535,380
182	4426,246	4505,023	4518,188	720,449	1147,492	4425,701
183	4973,027	4412,121	4137,382	944,707	1227,598	4740,341
184	4483,283	3725,051	4352,608	800,470	843,683	4398,779
185	5023,391	4282,705	4251,240	1411,159	1252,357	4644,957
186	3880,065	4889,578	4548,681	1479,960	264,674	4245,105
187	4065,968	4524,728	4675,276	661,255	1171,238	3879,685
188	4215,694	4031,748	4208,786	111,308	949,232	4070,967
189	4397,288	4185,546	4015,354	1188,115	1251,813	4550,977

190	4677,987	4379,229	4449,043	1416,467	992,220	4626,620
191	4364,317	4676,059	4502,931	766,457	766,497	4534,256
192	4804,158	4322,104	4778,696	1054,727	1498,259	4336,603
193	4604,709	4629,118	4510,213	674,332	1070,391	4713,153
194	4238,418	4161,565	4369,953	1210,081	644,646	4242,496
195	4548,530	3835,488	3732,827	303,399	1173,612	4617,020
196	4052,451	4543,595	4473,074	1666,163	884,471	4372,548
197	4713,055	4400,000	5124,786	1144,136	1175,353	4006,252
198	4356,958	4741,846	4334,053	503,263	1312,133	4818,264
199	4942,941	4266,279	4532,925	877,875	1203,437	4689,255
200	4224,754	4391,390	3780,056	783,724	738,126	4997,123
201	4446,172	3940,707	4322,119	1192,509	448,766	4020,325
202	4747,163	4215,768	4743,950	1065,505	1485,126	4204,608
203	4510,828	4584,815	4515,792	904,263	933,574	4592,491
204	3938,606	4874,320	3661,470	498,182	1141,493	5191,380
205	5054,984	3763,923	5180,552	1449,635	452,843	3643,570
206	4427,911	4584,553	4547,699	1014,229	1427,157	4446,872
207	4083,496	4998,370	4149,203	607,969	1271,559	4928,807
208	4890,785	4112,594	4555,442	827,106	1228,047	4471,230
209	4571,376	4485,676	4104,737	1231,395	829,170	5003,667
210	5169,219	3922,018	5049,178	1006,201	703,488	4032,942
211	3706,528	5163,300	3815,273	842,490	1216,152	5032,273
212	4736,788	4181,434	4976,558	1489,488	788,830	3956,523
213	4233,316	4762,280	4420,626	1186,825	905,613	4580,450
214	4958,883	3992,461	4820,700	575,203	1248,732	4142,162
215	4516,532	4598,982	3895,209	797,658	1475,980	5259,017
216	5078,322	4294,335	4303,346	1274,679	1097,308	4918,593
217	4535,928	4012,936	4804,341	1115,298	51,864	4160,934
218	3705,423	4878,958	4161,528	684,263	893,339	4441,917
219	4528,762	4277,759	4651,958	938,285	1441,774	4123,024
220	4265,346	4725,105	4144,823	1242,591	1050,870	4884,196
221	5226,047	3759,978	4816,805	748,316	1334,156	4181,307
222	4739,847	4280,814	4553,193	1142,720	713,704	4446,453
223	4358,154	4732,381	4382,661	1044,182	1049,562	4672,772
224	4635,236	4436,294	4622,943	678,019	1489,223	4510,393
225	3979,933	4814,530	4174,280	1492,866	459,747	4686,782
226	4435,400	4404,721	4654,415	920,360	1106,769	4214,526
227	4711,104	4153,554	4170,017	509,848	1613,005	4719,670
228	4432,428	4444,279	4425,769	1187,943	930,959	4465,751
229	5109,826	3853,423	4896,504	985,433	1102,625	4099,678
230	4121,827	4965,147	4265,298	1179,804	822,409	4847,879

231	4261,384	4551,572	4551,967	812,306	1159,658	4267,350
232	4178,480	4766,388	4370,387	1258,358	800,592	4643,981
233	4979,773	4295,587	4653,735	638,565	1371,493	4356,561
234	4742,999	4000,236	4096,064	913,024	894,832	4602,945
235	4485,924	4463,490	4333,066	1192,862	1028,889	4828,593
236	4985,827	4198,690	4882,820	1043,822	1128,959	4320,833
237	4063,190	4694,709	4107,745	799,053	731,408	4499,405
238	3873,324	4518,243	4340,177	1172,857	941,796	4049,640
239	4460,091	4384,453	4706,786	1411,782	1221,274	4203,914
240	4636,800	4490,055	4319,507	586,029	1414,296	4757,384
241	4998,391	4114,339	4495,037	1113,348	1127,858	4680,302
242	4652,466	4293,743	4276,861	853,480	722,253	4395,681
243	4050,078	4604,200	4115,565	1085,134	420,962	4697,477
244	4440,819	4378,189	4792,688	1176,339	1499,492	4014,240
245	4592,436	4501,735	4556,533	858,409	1267,428	4534,407
246	4958,117	4108,007	4388,447	584,139	1375,059	4674,090
247	4234,074	4798,549	4021,023	1375,339	549,406	5022,196
248	4725,261	4242,218	4730,535	735,347	1045,630	4357,185
249	4016,090	4785,953	4482,626	1511,938	783,974	3932,009
250	4391,089	4462,221	5038,626	1296,789	1133,010	4525,034
251	4807,425	4203,526	4600,417	438,015	1504,502	3876,793
252	4582,219	4607,873	4061,780	870,608	1311,178	5171,421
253	5174,209	3917,854	4601,509	1204,483	708,178	4463,123
254	3613,827	4942,205	3601,796	831,764	346,031	4974,704
255	4798,808	4059,952	5150,059	1162,912	1387,014	3722,291
256	4315,816	4711,576	4581,941	1070,816	911,019	4353,846
257	4823,212	4327,372	4695,814	888,212	1134,185	5031,719
258	4643,307	4573,956	4141,622	776,112	1344,738	4422,753
259	4945,729	4031,844	4433,763	1011,959	868,223	5087,491
260	3941,981	4613,485	3871,448	924,834	556,421	4158,023
261	4569,709	4301,700	4541,138	1171,342	1259,254	4684,513
262	4231,316	4885,658	4902,445	1353,911	964,249	4011,415
263	4655,979	4479,755	4594,321	520,896	1126,626	4562,651
264	5117,419	4045,887	4913,973	773,634	1251,848	4239,542
265	4440,118	4670,726	4025,500	965,814	1009,372	5117,201
266	4698,618	3943,634	4227,747	815,167	564,280	4304,600
267	3826,501	4641,765	3907,913	1303,244	974,182	4511,753
268	4851,905	4348,126	5176,928	660,968	1397,270	4004,848
269	4485,485	4761,351	4521,302	1288,293	1042,312	4965,499
270	4877,346	4218,463	4166,444	342,552	1261,994	4726,387
271	4649,844	3895,738	4460,470	1122,576	570,129	4297,984

272	4239,160	4622,948	3901,282	1021,776	1269,611	4936,394
273	4625,121	4361,987	5052,314	1557,374	696,303	3962,765
274	4345,456	4680,906	4611,374	665,370	1488,302	4448,991
275	4699,057	4232,833	4254,687	199,373	1140,650	4734,828
276	4470,422	4431,043	4409,544	1417,405	539,634	4508,883
277	4245,786	4626,963	4252,686	861,906	1058,555	4627,761
278	4580,078	4305,090	4642,021	1006,114	1356,105	4282,766
279	4407,150	4690,755	4483,232	1101,275	1007,361	4663,242
280	5302,406	3935,389	5078,109	941,816	1158,709	4169,331
281	4254,975	4669,086	3998,624	620,508	730,492	4922,255
282	3745,116	4148,222	3501,751	954,265	640,880	4315,082
283	4550,421	3716,083	4489,536	1239,602	1278,913	3801,803
284	3888,398	4959,966	4026,125	1010,177	988,719	4801,694
285	5029,496	4250,692	5142,027	1269,988	1231,121	4116,382
286	4484,632	4879,850	4415,542	757,531	999,597	4959,510
287	5523,323	3540,348	5356,037	1034,659	786,720	3766,282
288	3276,552	4850,611	2857,701	304,390	1070,791	5279,450
289	4879,099	3331,626	4318,978	1236,931	723,107	3283,724
290	4228,311	4304,810	4984,033	1429,868	1218,322	4085,732
291	3676,450	5198,018	4104,108	537,054	883,146	4778,662
292	5114,029	4251,567	5245,782	1323,662	1467,499	4075,719
293	4432,034	4915,524	4016,296	430,067	1090,133	5316,499
294	5006,130	3962,417	4481,451	1017,536	678,699	4338,563
295	4042,205	4547,470	4025,692	1344,984	301,478	4659,328
296	4338,759	4187,015	4979,897	1199,763	958,702	3569,025
297	4101,565	4768,415	4253,659	406,706	1621,805	4849,441
298	5379,031	3880,431	4539,225	699,483	1850,233	4726,149
299	4620,676	4632,109	3878,654	1205,271	844,155	5189,982
300	4245,800	4330,205	4760,066	1154,278	1,694	4139,700
301	3937,304	4588,519	4191,922	705,327	577,505	3781,318
302	4273,829	4744,267	4496,844	1129,239	1574,774	4527,691
303	4874,161	4149,920	4964,082	1606,146	867,320	4025,467
304	4728,258	4295,377	4245,041	157,650	1509,594	4785,499
305	5134,440	3815,886	3979,273	620,664	1321,352	5082,446
306	4184,349	4552,409	3741,858	1384,094	192,248	4893,926
307	4344,161	4235,818	4684,052	1053,987	464,831	3904,870
308	3915,074	4787,058	4492,866	1143,530	1200,721	4230,417
309	4425,644	4599,442	4920,683	1199,968	951,663	4142,620
310	4887,586	4096,751	4438,156	615,767	1223,364	4620,796
311	4515,119	4493,029	3987,273	466,802	1737,126	5016,010
312	5364,880	3677,818	4159,745	1024,921	1299,108	4853,650

313	3974,353	4431,698	4110,809	1338,009	5,005	4208,699
314	3669,534	4238,505	4533,183	942,655	2109,110	3599,166
315	4475,105	4480,775	4368,134	542,724	134,080	4609,464
316	4933,486	4674,530	4628,008	1467,913	1850,039	4807,773
317	4664,408	4144,154	4153,986	264,955	987,749	4515,734
318	4058,872	4530,760	3785,668	1280,595	238,434	4875,262
319	4919,164	3904,700	4880,607	785,342	1710,593	3904,290
320	4302,053	4721,409	4099,514	976,320	1294,984	4921,179
321	4892,041	4167,568	4874,461	1247,925	781,597	4190,422
322	4023,374	4971,134	4295,310	1105,061	555,058	4705,606
323	4401,780	4654,914	4775,219	727,868	1439,762	4486,977
324	4732,931	4275,774	4552,928	1029,500	985,436	4243,779
325	4380,380	4504,283	4117,467	1073,510	1170,952	4792,897
326	4822,948	4283,569	4515,802	1041,491	1098,788	4508,536
327	4580,201	4482,845	4585,273	917,894	827,909	4642,513
328	4674,774	4267,597	4751,371	961,144	1032,762	4184,208
329	4257,215	4706,109	4369,914	1232,680	1185,866	4607,775
330	4470,288	4508,451	4559,330	946,685	971,334	4425,953
331	4222,441	4698,981	4118,064	860,304	1049,798	4810,588
332	5165,547	3871,239	4976,882	1129,166	1165,865	4067,330
333	4522,876	4790,594	4268,658	773,840	1195,264	5079,795
334	4313,123	4574,846	4004,889	926,790	1015,874	4864,666
335	4684,027	4220,379	4466,898	1199,920	953,948	4558,020
336	4104,619	4848,100	5004,639	1086,793	871,727	3908,256
337	4680,921	4217,492	4630,186	1256,035	949,613	4347,380
338	3868,563	5089,322	4337,347	797,515	1213,933	4647,604
339	4970,289	4028,282	4558,264	523,440	1557,313	4429,346
340	4892,976	4214,557	4070,814	1278,557	1338,947	5043,170
341	5062,620	4117,507	4619,955	1119,844	421,071	4471,479
342	3952,623	4942,789	4529,800	1508,439	115,771	4300,297
343	4450,597	4369,597	4948,628	399,093	1379,721	3885,807
344	4050,729	4874,512	4069,455	788,048	1076,878	4910,711
345	4738,351	4295,081	4520,461	1195,532	1143,626	4531,577
346	5114,855	3878,925	4730,333	539,709	965,646	4306,412
347	4571,374	4105,699	3965,840	742,522	1249,089	4621,927
348	4427,259	4254,388	4096,243	1124,937	926,331	4665,178
349	4569,684	4581,991	4583,644	1421,635	1266,743	4462,129
350	3871,947	5196,429	4828,113	1756,155	364,812	4260,299
351	4506,407	4546,725	5377,606	939,645	1316,974	3694,314
352	4768,837	4302,382	4250,100	8,551	1542,623	4743,099
353	4590,355	3932,806	3809,643	219,334	1234,213	4997,504

354	4789,312	4258,533	4497,359	1359,752	789,808	4592,492
355	4424,377	4580,772	4013,778	1069,544	1016,894	4912,637
356	4673,524	4404,029	5245,601	1547,734	613,000	3800,544
357	3924,352	4998,968	4661,065	1064,168	1175,890	4095,726
358	4439,316	4304,586	4956,436	235,340	962,355	3956,354
359	4111,361	4541,208	3673,107	576,843	1241,665	5050,665
360	5162,436	3819,554	4314,072	1204,541	1463,823	4553,158
361	4931,380	4154,711	4662,238	855,096	967,396	4689,383
362	4478,260	4469,053	4403,744	1240,268	364,277	4240,500
363	3928,673	4949,474	5112,897	961,542	846,383	4317,874
364	4725,748	4493,600	4106,941	1210,145	1328,723	3976,454
365	4505,054	4137,002	5085,219	406,950	1459,999	5012,666
366	4581,827	4461,432	3866,406	1186,388	665,850	4713,513
367	4656,300	4016,886	4510,299	700,046	1048,159	4527,366
368	4473,230	4491,463	4145,630	1301,618	1378,752	4833,305
369	4658,845	4348,995	4949,604	1395,251	739,521	4031,898
370	4064,453	4897,097	4330,656	1177,914	931,429	4352,913
371	4360,970	4513,638	4831,843	213,103	1122,588	4111,817
372	4135,897	4143,449	4008,202	559,334	960,029	4530,643
373	4764,762	3814,818	4192,690	1075,543	1355,489	4347,847
374	4435,444	4586,330	4029,775	1416,865	888,100	4871,725
375	4712,843	4429,147	5033,632	1234,051	555,204	4093,849
376	4317,244	4697,475	4701,925	703,275	1118,284	4319,815
377	4135,773	4336,621	4526,812	831,248	685,084	4044,082
378	4458,183	4092,892	3727,644	450,763	1288,556	4471,896
379	4117,826	4202,322	4007,364	1227,092	1064,769	4628,369
380	4849,144	4018,159	4609,346	1150,252	1189,281	4422,336
381	4517,911	4700,115	4792,527	1330,247	731,990	4470,794
382	4252,554	4865,572	4385,601	566,229	1218,476	4707,694
383	4702,340	4232,287	4907,301	1167,930	729,495	4035,067
384	4180,167	4636,445	4308,563	1076,805	1289,700	4728,892
385	4507,064	3837,465	4058,634	706,601	1137,789	4239,091
386	4754,362	4110,449	4358,802	1117,293	1049,767	4516,986
387	4277,552	4675,647	4058,681	1269,804	870,257	4837,398
388	4740,968	4371,862	4832,279	798,833	1332,968	4294,929
389	4279,467	4765,097	4311,498	974,701	909,808	4748,429
390	4856,710	4110,241	5157,541	1369,803	510,372	3796,357
391	3929,652	4736,530	3739,717	420,026	1430,827	4898,291
392	4854,075	3803,278	4506,976	913,141	1137,642	4187,084
393	4284,931	4324,864	4156,575	1373,885	927,245	4820,354
394	4841,041	4747,309	4628,699	882,016	1019,491	4533,171

395	4545,285	4351,498	4947,515	1151,325	1201,139	4263,234
396	3985,049	5059,236	4251,995	879,336	672,105	4795,243
397	5162,771	3950,855	5206,294	1156,231	1404,720	3895,763
398	4266,547	4590,022	3916,207	847,000	1055,394	4933,048
399	4787,034	4072,001	4106,609	895,854	1318,125	4743,100
400	4206,079	4725,121	3931,319	1069,152	960,867	5077,587
401	4480,496	4185,375	4765,970	1278,084	486,127	4154,312
402	4701,200	4424,527	5162,720	1082,258	1280,462	3772,091
403	4368,717	4657,146	3941,350	832,939	1027,300	4701,939
404	4628,905	4168,775	4776,501	78,242	1245,046	4301,723
405	4099,528	4002,382	3260,682	662,182	827,647	4977,774
406	4429,188	3824,692	4148,283	1250,581	564,137	4188,202
407	4299,491	4564,762	4472,292	1030,223	1290,957	4320,727
408	4717,723	4491,175	5001,859	1399,425	805,735	4156,988
409	4666,551	4605,324	4436,784	633,858	1102,688	4605,319
410	4530,046	4378,509	4844,502	868,785	669,637	4376,489
411	4321,888	4530,855	3823,361	441,354	1363,636	4973,366
412	4404,872	4067,258	4247,679	1244,334	640,912	4223,567
413	4169,844	4570,885	4387,566	976,024	1201,762	4365,889
414	4990,900	4213,128	4973,391	1206,409	1441,930	4250,036
415	4648,408	4391,288	4356,139	473,486	1062,211	4689,008
416	4222,725	4704,151	3978,680	1339,127	590,069	4943,736
417	5077,590	4071,114	4922,812	936,199	1394,003	4242,686
418	4222,181	4737,749	3861,128	658,327	1092,177	4860,080
419	3952,649	4284,478	4270,531	1350,793	614,265	4413,311
420	4601,294	4521,733	5004,517	1509,390	1024,308	3969,025
421	4213,652	4943,253	4642,391	820,394	1289,649	4502,413
422	4778,318	4147,897	4497,579	314,038	1080,523	4339,205
423	4729,641	4328,135	4115,452	1050,062	1410,334	5027,708
424	5176,403	3851,810	4418,596	893,190	981,047	4589,762
425	3790,214	4840,862	4170,167	1507,051	61,896	4468,842
426	4285,508	4535,208	4925,436	1205,197	990,240	3883,763
427	3907,693	4984,984	4165,964	713,965	1404,929	4483,438
428	4673,299	4345,517	4514,814	986,386	1107,767	4759,644
429	5374,537	3673,493	4884,912	780,485	1416,751	4161,700
430	4386,762	4483,722	3892,473	1035,593	950,269	5102,868
431	4623,120	4348,827	4483,014	1153,079	344,348	4453,180
432	3763,077	4968,017	4382,715	1370,305	693,558	4241,726
433	4489,537	4251,798	4885,894	624,209	1394,744	3868,760
434	4697,680	4353,978	4183,841	305,060	1591,016	4931,078
435	4925,045	4214,007	4608,583	1534,267	881,155	4664,910

436	4385,787	4534,040	4467,964	1016,826	239,547	4409,433
437	4000,887	4774,080	4550,686	1174,365	740,622	4196,156
438	4353,660	4469,658	4501,661	563,894	1454,310	4317,898
439	5032,694	3955,361	4388,838	814,604	1613,257	4585,260
440	4593,387	4449,815	4166,819	1444,497	677,955	4856,788
441	4151,142	4628,904	4597,658	1057,606	14,955	4154,952
442	4462,050	4461,981	4379,374	555,969	1740,231	4563,524
443	4617,514	4675,882	4610,888	1374,216	827,679	4782,609
444	5046,756	3997,314	4866,613	534,755	1292,046	4199,541
445	4379,228	4487,567	4139,278	964,265	1077,579	4910,542
446	4581,979	4417,162	4475,712	1235,399	568,264	4416,296
447	3858,141	4851,217	4182,580	999,303	1039,633	4541,116
448	4747,743	4190,995	4932,258	860,613	1382,765	4037,230
449	4983,012	4103,145	4601,283	1010,572	986,334	4521,979
450	4549,790	4284,033	3756,239	739,759	1339,939	4920,182
451	4342,785	3907,030	3917,434	927,212	749,690	4620,799
452	4607,781	4123,436	4568,377	1266,063	1137,150	4072,538
453	4025,396	4941,889	4633,089	1503,732	791,692	4341,270
454	4320,356	4736,081	4787,731	814,211	1317,475	4273,345
455	4582,789	4520,774	4253,985	341,578	1089,646	4869,241
456	5388,122	3733,749	4601,566	868,806	1428,953	4525,296
457	4592,020	4229,626	3986,331	1221,217	444,481	4632,587
458	3988,669	4512,909	4195,843	881,406	248,067	4183,927
459	4502,368	4311,405	4613,336	1163,055	1217,360	3903,469
460	4132,581	4802,716	4515,465	950,033	1408,391	4604,913
461	5002,595	4253,272	4755,865	804,224	1121,761	4477,546
462	4213,708	4730,011	4176,518	1265,350	377,027	4839,234
463	4823,522	3728,538	4499,509	349,840	1198,797	4106,504
464	3861,968	4814,296	3901,487	1534,355	917,173	4753,657
465	4939,842	4106,639	4922,488	1010,070	1359,876	4095,741
466	4574,498	4733,222	4449,423	922,202	1188,489	4871,403
467	5006,381	4494,248	4783,158	1266,812	939,415	4576,824
468	4736,109	4291,358	4956,227	630,211	271,119	4264,362
469	3485,726	4889,000	3735,481	1261,524	646,340	4545,558
470	4481,917	3879,054	4275,195	414,401	1573,037	4124,523
471	4859,357	4244,593	4649,800	1404,786	617,648	4769,930
472	4675,706	4542,713	4316,350	1047,478	1238,096	4433,422
473	4224,742	4431,657	4961,043	1488,228	32,319	3871,917
474	3980,207	4679,124	3789,289	19,577	1611,800	4919,496
475	4718,640	4159,483	4227,828	722,552	1267,805	4648,344
476	4989,409	3985,455	4882,886	1527,858	845,506	4040,722



477	4404,348	4492,714	4534,970	828,324	328,357	4435,538
478	3756,787	4987,902	5016,838	1554,044	1395,483	3923,607
479	4079,334	4597,506	3843,392	29,422	1137,780	4841,513
480	5002,606	3711,580	4612,274	1022,668	1040,536	4065,159
481	4579,992	4410,305	3911,533	1191,383	1388,012	5052,318
482	4902,111	4253,416	4655,142	954,933	821,597	4519,108
483	4145,222	4934,528	4875,792	1445,071	140,367	4329,716
484	3934,316	4636,736	4394,012	938,191	919,773	3834,074
485	4598,427	4207,799	4883,538	416,853	1378,514	4377,445
486	4309,346	4440,571	4086,827	941,262	1269,481	4792,015
487	4860,290	4042,878	4423,609	1231,431	1207,926	4611,763
488	4579,556	4488,275	4140,148	891,439	776,653	4953,872
489	4781,974	4375,016	4693,186	1139,349	923,338	4420,043
490	4178,462	4727,849	4423,986	878,792	1083,292	4555,636
491	4382,011	4491,748	4754,122	1385,664	862,075	4117,619
492	4517,997	4422,669	4480,187	786,291	1229,890	4473,766
493	4866,719	4142,094	4619,213	1181,130	1024,188	4397,514
494	4457,383	4562,503	4207,559	978,946	957,293	4810,407
495	4734,011	4193,318	4325,381	509,588	1374,835	4622,870
496	4073,101	4786,032	3891,560	1384,819	692,149	4982,944
497	4955,496	3975,509	5231,622	1180,089	908,385	3696,300
498	4210,045	4777,194	4512,290	728,843	1327,039	4478,762
499	4753,049	4324,503	4181,520	978,498	1058,727	4841,940
500	4190,249	4751,755	4581,875	1176,195	948,990	4507,906



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari perhitungan dan pembahasan struktur SPM 1134 milik CNOCC SES Ltd yang telah dilakukan pada bab - bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang juga akan menjawab permasalahan yang ada pada penelitian Tugas Akhir. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat dirangkum dari penelitian ini:

1. *Response Amplitude Operator* (RAO) struktur SPM 1134 milik CNOCC SES Ltd yang memiliki 6 mooring sistem pada gelombang acak mendominasi pada gerakan osilasi translasional adalah gerakan *surge* sebesar 0,497572 m/m pada *heading* 0° dan *sway* sebesar 0,497572 m/m pada *heading* 90°. Sedangkan pada gerakan osilasi rotasional yang mendominasi adalah *roll* sebesar 1,127073 deg/m pada *heading* 90°.

Dari analisa RAO diatas, dapat disimpulkan bahwa struktur SPM 1134 ini dapat memenuhi kriteria operasi dengan presentase operabilitas 100 tahunan sebesar 98% yang mengacu pada sebaran gelombang Laut Utara Jawa.

2. Keandalan dari mooring line SPM 1134 pada line 1 sebesar 82%, line 2 sebesar 83%, line 3 sebesar 83%, line 4 sebesar 84%, line 5 sebesar 84% dan line 6 sebesar 83%. Dapat disimpulkan semakin besar tegangan yang terjadi pada mooring line, maka keandalannya semakin kecil.

## **5.2 Saran**

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk analisa tegangan pada mooring line disarankan menggunakan software lain untuk membandingkan hasil dari pemodelan pada software yang digunakan penulis.
2. Analisa keandalan menggunakan metode MVFOSM dirasa kurang teliti, dianjurkan pada penelitian selanjutnya menggunakan metode simulasi Monte Carlo.

## DAFTAR PUSATAKA

- API RP 2S. 1996. *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structure*. Washington. DC.
- Afriansyah, Rezha. 2013 .“Perancangan *Buoy Mooring System* Untuk *Loading – Unloading Aframax Tanker* di Terminal Kaling Minyak Balongan”. Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Computational Mechanics Publications Southampton. Boston. USA.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press. ITS Surabaya. Indonesia.
- DNV OS E301. 2004. “Position Mooring”. Det Norske Veritas. Norway.
- Rosyid, D. M. 2007. *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Airlangga University. Surabaya: Press.
- Indiyono, P. 2004. *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: SIC

## BIODATA PENULIS



**Agripina Heraspatty** dilahirkan di Surabaya pada tanggal 06 Juni 1993, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di Sekolah Dasar Hang Tuah 9 Sidoarjo pada tahun 1999-2005. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Negeri 3 Sidoarjo pada tahun 2005-2008 dan SMA Hang Tuah 2 Sidoarjo pada tahun 2008-2011. Setelah lulus SMA pada tahun 2011, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan,

Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar dengan NRP 4311100086. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa-Teknik kelautan, OCEANO, UKM Basket dan Paduan Suara Mahasiswa. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan PT. Radiant Utama Interinsco TBK selama dua bulan. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 5 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik operabilitas dan keandalan pada *Single Point Mooring*.

Kontak Penulis :

Email : **[ninaagripina@gmail.com](mailto:ninaagripina@gmail.com)**

Telepon : 082230600060

Line ID : ninagripina